Міністерство освіти і науки України
Подільський державний аграрно-технічний університет

Приліпко Т.М., Коваль Т.В., Букалова Н.В.

БІОХІМІЧНИЙ І МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Кам'янець-Подільський – 2020

УДК 637.1/.5.027.001.37
Прил76

Автори: **Приліпко Т.М.**, доктор сільськогосподарських наук, професор; **Коваль Т.В.,** кандидат сільськогосподарських наук, доцент; **Букалова Н.В.,** кандидат ветеринарних наук, доцент

Друкується згідно з рішенням Вченої ради
Подільського державного аграрно-технічного університету
(протокол № 9 від 17.06.2020 р.)

Рецензенти:

Борщенко В.В., *доктор сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри годівлі тварин і технології кормів Поліського національного університету;*

Любинський О.І., *доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка;*

Мерзлов С.В., *доктор сільськогосподарських наук, професор, декан біолого-технологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету;*

Супрович Т.М., *доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри гігієни тварин та ветеринарного забезпечення кінологічної служби національної поліції України Подільського державного аграрно-технічного університету*

Приліпко Т.М.

Прил76 Біохімічний і мікробіологічний контроль якості харчових продуктів: навчальний посібник / Т.М.Приліпко, Т.В.Коваль, Н.В.Букалова – Кам'янець-Подільський, 2020. – 575 с.

Навчальний посібник розрахований для студентів аграрних закладів вищої освіти III-IV рівнів акредитації за спеціальністю 204 «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва». Може бути корисним слухачам підвищення кваліфікації, технологам, які керують процесами виробництва і переробки на агропромислових підприємствах.

УДК 637.1/.5.027.001.37

© Приліпко Т.М. 2020
© Коваль Т.В. 2020
© Букалова Н.В. 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
НАЙЧАСТІШЕ ВЖИВАНІ СКОРОЧЕННЯ	6
ТЕМА 1. СТАНДАРТИ ТА НОРМАТИВИ В ГАЛУЗІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	7
1.1. Основні пріоритети щодо якості та безпеки продуктів харчування	7
1.2. Міжнародні нормативно-правові основи безпеки харчової продукції	14
1.3. Система забезпечення безпечності харчових продуктів – Hazard Analysis Control Critical Points (HACCP)	20
1.4. Штрихове кодування і товарна класифікація експортно-імпортних продовольчих товарів	31
ТЕМА 2. ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	36
2.1. Класифікація забруднювачів продуктів харчування	36
2.2. Техногенні забруднювачі продовольчої сировини і харчових продуктів	39
2.3. Радіонукліди	48
2.4. Пестициди у навколишньому середовищі та харчових продуктах	54
2.5. Поліциклічні ароматичні та хлоровмісні вуглеводні (ПАВ)	60
2.6. Мікотоксини	62
2.7. Ветеринарні препарати	66
ТЕМА 3. ОБМІН РЕЧОВИН – ОСНОВНА ОЗНАКА ЖИВИХ СИСТЕМ	76
3.1. Біохімічні основи обміну речовин в організмі	76
3.2. Хімічний склад живих організмів	86
3.3. Структура та біологічне значення вуглеводів	99
3.4. Структурно-функціональна характеристика ліпідів	117
3.5. Структура, фізико-хімічні властивості білків	123
3.6. Класифікація простих та складних білків	142
3.7. Нуклеїнові кислоти	154
3.8. Вітаміни	160
3.9. Ферменти (ензими)	189
3.10. Гормони	213
ТЕМА 4. МЕХАНІЗМИ ПЕРЕТВОРЕННЯ І ОКИСНЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН В ЖИВИХ ОРГАНІЗМАХ	236

4.1. Біологічне окиснення	236
4.2. Обмін вуглеводів	243
4.3. Обмін ліпідів	272
4.4. Обмін білків	290
4.5. Обмін води і мінеральних речовин	319
4.6. Обмін різних речовин як єдине ціле	327
ТЕМА 5. БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО Є В ОСНОВІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОКРЕМИХ ТКАНИН, ОРГАНІВ, СИСТЕМ ОРГАНІЗМУ, ТА ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ	330
5.1. Біохімія м'язової тканини	330
5.2. Біохімія крові	351
5.3. Біохімія нирок і сечі	370
5.4. Біохімія печінки	383
ТЕМА 6. БІОХІМІЯ СИРОВИНИ І ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	387
6.1. Біохімія м'ясної сировини	387
6.2. Біохімія молочної сировини молокопродуктів	420
6.3. Біохімія продуктів рибництва	428
6.4. Біохімія харчових яєць	436
6.5. Біохімія шкіри і шерсті	444
6.6. Біохімія меду та інших продуктів бджільництва	450
ТЕМА 7. УМОВНА КЛАСИФІКАЦІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЗА ПРИДАТНІСТЮ ДО СПОЖИВАННЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЧНИМИ І БІОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ	469
7.1. Зниження харчової цінності продукції під час зберігання і переробки	469
7.2. Санітарно-гігієнічний режим зберігання	488
ТЕМА 8. МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	501
8.1. Умови існування мікроорганізмів	506
8.2. Відбір проб для аналізу харчових продуктів	510
8.3. Мікробіологія молока та молочних продуктів	512
8.4. Мікробіологія свіжого та замороженого м’яса, напівфабрикатів та субпродуктів	529
8.5. Мікробіологія яєць і яйцепродуктів	537
8.6. Мікробіологія рибної продукції	540
8.7. Мікробіологія консервів	545
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	548
СЛОВНИК ТЕРМІНІВ	552

ПЕРЕДМОВА

Особлива роль харчової промисловості визначається соціальним значенням продукції, яку випускають на підприємствах будь-якої країни. У процесі виробництва продовольства специфічно поєднуються природні, економічні та соціальні чинники життєдіяльності населення. Враховуючи, що харчова промисловість України є сектором економіки, який виявляє найбільшу стійкість до кризи та зростає найвищими темпами, питання технологічної експертизи та безпеки харчової продукції набуває особливої актуальності. З метою використання потенціалу зростання галузі необхідно підвищити рівень продовольчої безпеки та контролю в харчовій промисловості до рівня вимог СОТ і ЄС.

Тому видання навчально-методичної літератури для здобувачів вищої освіти спеціальності 204 «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва» має важливе значення, яке сприятиме поліпшенню кваліфікації фахівців, а відповідно, якості та безпеки вітчизняної харчової продукції, збільшенню її конкурентоспроможності на світовому ринку.

Методика викладання, що застосовується у Подільському державному аграрно-технічному університеті, спрямована на організацію як теоретичної, так і практичної підготовки фахівців. Досягнути цього можна лише при методично правильній організації навчального процесу студентів.

Специфіка дисципліни, для якої навчальний процес пов’язаний з обов’язковим проведенням лабораторних занять, дає можливість виявити здібності кожного студента і прищепити йому навики самостійної роботи. Значний відсоток контролю якості засвоєння матеріалу програми проводиться на лабораторних заняттях, підготовці й організації проведення яких передує певна методична робота: постановка експерименту, підбір завдань прикладного характеру, контрольних запитань тощо. У посібнику використана сучасна термінологія та номенклатура, система позначень, рекомендованих українською національною комісією з термінології та номенклатури.

НАЙЧАСТІШЕ ВЖИВАНІ СКОРОЧЕННЯ

АБ – азотний баланс
АДФ – аденозиндифосфорна кислота
АМФ – аденозинмонофосфорна кислота
АТ – афлатоксини
АТФ – аденозинтрифосфорна кислота
БАР – біологічно активні речовини
БЕР – безазотисті екстрактивні речовини
БК – білковий коефіцієнт
БО – біологічне окиснення
ВЖК – вищі жирні кислоти
ВМС – високомолекулярні сполуки
ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я
ГДК – гранично допустима концентрація
ГМО – генетично модифікований організм
Г-1-Ф – глюкозо-1-фосфат
Г-6-Ф – глюкозо-6-фосфат
ГСТУ – галузеві стандарти України
ДДД – допустима добова доза
ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислота
ДСТУ – державні стандарти України
ДФБ – динітрофторбензол
ЕОМ – електронно-обчислювалні машини
ЕПС – ендоплазматична сітка
ІЕТ – ізоелектрична точка
іРНк – інформаційна РНК
ККТ – критичні контрольні точки
КрФ – креатинфосфат
ЛДГ - лактатдегідрогеназа
МТ – мікотоксини
НАССР – система аналізу ризиків та контролю (регулювання) у критичних точках
НАД – нікотинамідаденіндинуклеотид
НАДФ – нікотинамідаденіндинуклеотид Фосфат
НК – нуклеїнові кислоти
НККАУ – Національна комісія України з Кодексу Аліментаріус
ПАБК – парааміномбензойна кислота
ПАВ – поліциклічні ароматичні вуглеводні
ПВК – піровиноградна кислота
ПО – повітрообмін
РН – радіонукліди
РНК – рибонуклеїнова кислота
рРНК – рибосомальна РНк
РР – радіоактивні речовини
СОТ – світова організація торгівлі
СТП – стандарти підприємств
СТТУ – стандарти наукво-технічних та інженерних товарств і спілок України
тРНК – транспортна РНК
ТУУ – технічні умови України
ФАО – Продовольча та сільськогосподарська організація ООН
Ф-6-Ф – фруктозо-6-фосфат
Ф-1,6-Ф – фруктозо-1,6-дифосфат
ЦНС – центральна нервова система
ЦСМ – центри стандартизації і метрології
ЦТК – цикл трикарбонових кислот

ТЕМА 1. СТАНДАРТИ ТА НОРМАТИВИ В ГАЛУЗІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.1. Основні пріоритети щодо якості та безпеки продуктів харчування

Під якістю розуміють сукупність властивостей товарів, що зумовлюють їх придатність задовольняти певні потреби людини. Від якості продукції залежить і її можливості. Якість продукції базується на чотирьох основних чинниках: поживній (забезпечення потреби організму в енергії та поживних речовинах протягом терміну придатності продукту) і біологічній (ефективність використання організмом) цінності, кількості та індивідуальної біохімічної реакції у відповідь на спожиту їжу.

На якість продовольчих товарів впливають фактори сфери виробництва – умови вирощування рослинницької продукції, якість сировини, напівфабрикатів, матеріалів, технології, обладнання, праці виробників; фактори сфери розподілу – якість зберігання, транспортування, реалізації і сфери споживання – якість короткотермінового зберігання, споживання і засвоєння. Якісну характеристику однієї або декількох властивостей продовольчих товарів називають показниками якості.

Показники якості продовольчих товарів бувають одиничними, які визначають одну властивість продукції, наприклад, колір, консистенція, вміст жирів, кислот, цукрів тощо і комплексними, які характеризують дві або більше властивостей продуктів, наприклад, зовнішній вигляд плодів об'єднує форму, розмір, забарвлення тощо. Показники якості поділяють на органолептичні, що визначають за допомогою органів відчуття – форма, колір, стан поверхні, смак, запах, консистенція тощо, фізико-хімічні – питома вага, щільність, температура топлення, масова частка води, цукру, кухонної солі, кислот, жиру тощо, мікробіологічні – вміст сальмонел, бактерій кишкової палички, дріжджів тощо.

Кількісну характеристику показників якості вивчає наука кваліметрія (від лат. gualitas – якість і грец. metreo – вимірювати). Фізичні показники якості визначають фізичними методами за допомогою приладів, наприклад, температуру топлення за допомогою термометра, щільність рідин – пікнометра

або ареометра, інтенсивність забарвлення – калориметра, вугол заломлення – рефрактометра; хімічні показники – хімічними методами, наприклад, масову частку кислот – титруванням розчином лугу, кухонної солі – титруванням розчином азотнокислого срібла; мікробіологічні показники – наприклад, методом зняття проб з продуктів, посіву їх на поживне середовище і підрахунку кількості окремих груп мікроорганізмів, що проросли.

Показники якості поділяють на межеві – «від... до», наприклад, масова частка кухонної солі в квашеній капусті першого сорту повинна бути 1,2–1,8 %; граничні – «не більше», «не менше» – вміст сахарози в цукрі-піску повинен бути не менше 99,75 %, а вологість – не більше 0,14 %; заборонні – «не допускається» – в партії картоплі не допускаються бульби підморожені; допустимі – «допускається» – в партії яблук 1-го сорту пізніх строків достигання допускається незначне в'янення плодів.

Показники якості харчових продуктів умовно об'єднують в групи: показники призначення, збереженості, естетичні, транспортабельності, екологічні, безпеки у споживанні.

Основні завдання щодо якості та безпеки продуктів харчування:

- контроль за якістю та безпекою продовольчої сировини, супутніх матеріалів, харчових продуктів, зокрема дитячих;
- контроль за безпекою імпортної продукції, зокрема виготовленої на основі генетично модифікованих організмів (обов’язкове маркування такої продукції);
- подальше удосконалення нормативно-правової бази, розроблення національних медико-біологічних вимог і санітарних норм якості продовольчої сировини та харчових продуктів;
- надання громадянам юридичної підтримки у відшкодуванні їм матеріальних і моральних збитків у разі заподіяння шкоди від вживання небезпечних продуктів харчування;
- організація санітарної просвіти населення щодо профілактики харчових отруєнь і аліментарної профілактики негативного впливу шкідливих речовин.

Основними завданнями державної політики в галузі забезпечення населення якісними та безпечними продовольчими товарами є:

1. Гармонізація існуючих нормативно-правових актів щодо продуктів харчування з вимогами директив ЄС;
2. Забезпечення лабораторій, що здійснюють контроль за безпекою продовольчої сировини та харчових продуктів необхідним сучасним обладнанням, реактивами, кадрами та методичними розробками проведення лабораторних випробувань;
3. Проведення акредитацій лабораторій контролю безпеки сировини та харчових продуктів у державній системі сертифікації УкрСЕПРО;
4. Створення національної системи контролю за безпекою харчової сировини і продуктів, вирощених на забруднених ґрунтах. Доповнення показників безпеки харчових продуктів і продовольчої сировини показниками, встановленими в ряді європейських країн, зокрема стосовно вмісту нітрозодіпропіламіну, бенз(о)пірену, стимуляторів росту поліхлорованих біфенілів, діоксинів, стероїдних гормонів, а також залишків ветпрепаратів;
5. Забезпечення підприємств, які виготовляють продукти дитячого харчування, екологічно чистою сировиною;
6. Організація реклами продуктів харчування, які сприяють підвищенню резистентності організму до шкідливого впливу забруднювачів довкілля;
7. Забезпечення широкого інформування населення щодо профілактики харчових отруєнь, у тому числі дикорослими грибами, а також гострих кишкових інфекційних захворювань.

Різке погіршення екологічної ситуації практично в усіх регіонах світу, пов'язане з антропогенною діяльністю людини, вплинуло на якісний склад споживаної їжі. З харчовими продуктами в організм людини надходить велика частина хімічних і біологічних речовин. Вони потрапляють і накопичуються в харчових продуктах і через біологічний ланцюг, що забезпечує обмін речовин між живими організмами, з одного боку, і повітрям, водою, ґрунтами – з іншого, і через харчовий ланцюг, що включає всі етапи сільськогосподарського та промислового виробництва продовольчої сировини і харчових продуктів, а

також їх зберігання, упакування і маркування. З огляду на це досягнення безпечності і належного рівня якості продовольчої сировини і харчових продуктів є одним із найважливіших завдань сучасного суспільства щодо здоров'я населення і збереження його генофонду.

Кабінет Міністрів України 29 травня 1992 року схвалив Концепцію з питань національної стандартизації, метрології і сертифікації, прийняв Декрет від 10 травня 1993 року «Про стандартизацію і сертифікацію». В Україні створено Державний комітет стандартизації, метрології і сертифікації – Держстандарт України, Український науково-дослідний інститут стандартизації, сертифікації, інформатики, а також Центр метрології (у м. Харкові) і «Систему» (у м. Львові), які займаються розробкою питань стандартизації, метрології і сертифікації товарів.

Держстандартом України спочатку було розроблено п'ять основних державних стандартів, чинних з жовтня 1993 року: Основні положення, Порядок розробки державних стандартів, Порядок розробки і побудови технічних умов, Стандарти підприємств. Основні положення, Загальні вимоги до побудови, змісту, викладу стандартів, на основі яких розробляються інші стандарти, а також впроваджено національну систему сертифікації (Укр.СЕПРО). 31 липня 1995 року введено обов'язкову сертифікацію харчових продуктів вітчизняного виробництва та тих, що завозяться з-за кордону, на відповідність вимогам безпеки в державній системі сертифікації Укр.СЕПРО.

Сертифікат відповідності вимогам стандартів і безпеки харчових продуктів видають акредитовані органи сертифікації, що діють в обласних центрах і великих містах України.

Кожна партія харчових продуктів, що надходить від виробника, повинна супроводжуватись посвідченням про якість, сертифікатом відповідності державній системі сертифікації або копією сертифіката відповідності, завіреною постачальником на товар, котрий підлягає обов'язковій сертифікації, або ж зазначеним у товаросупровідній документації його регістраційним номером.

Сертифікація передбачає перевірку відповідності харчової продукції встановленим стандартам і контроль за дотриманням технологій її виготовлення.

Харчові продукти, які супроводжуються сертифікатом, вважаються проконтрольованими на їх відповідність вимогам стандартів і безпеки.

Держстандартом України досягнуто домовленості з деякими країнами ближнього і далекого зарубіжжя про визнання сертифікатів, що видані в системі сертифікації України.

Україна бере участь в роботі Міжнародних нарад з питань стандартизації, метрології і сертифікації товарів.

Відповідно до Міжнародних договорів в республіці застосовують і міжнародні, регіональні та національні стандарти.

Згідно з Декретом Кабінету Міністрів України від 10 травня 1993 року № 46–93 «Про стандартизацію і сертифікацію» нормативні документи зі стандартизації розподіляють за такими категоріями: державні стандарти України – ДСТУ; галузеві стандарти України – ГСТУ; стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок України – СТТУ; стандарти підприємств – СТП; технічні умови України – ТУУ.

Стандарти колишнього СРСР (ГОСТ) та республіканські стандарти колишньої УРСР (РСТ) застосовують як державні стандарти України (ДСТУ).

Галузеві стандарти України (ГСТУ) розробляють на продукцію за відсутності державних стандартів України (ДСТУ) чи у разі необхідності встановлення вимог, які перевищують або доповнюють вимоги державних стандартів.

Стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок України (СТТУ) розробляють у разі необхідності поширення результатів фундаментальних і прикладних досліджень, одержаних в окремих галузях чи сферах професійних інтересів.

Стандарти підприємств (СТП) розробляють на продукцію, що використовується лише на конкретному підприємстві. СТП не повинні суперечити обов'язковим вимогам державних і галузевих стандартів.

Технічні умови України (ТУУ) містять вимоги, що регулюють відносини між постачальником (розробником, виготовлювачем) і споживачем (замовником) продукції.

Державні, галузеві стандарти України та стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок України, а також заміни до них підлягають державній реєстрації у Держстандарті України, а технічні умови України в його територіальних органах – обласних центрах стандартизації і метрології (ЦСМ).

Державним стандартам присвоюють позначення, яке складається з індексу державного стандарту (ДСТ), скороченої назви держави (У), реєстраційного номера і двох останніх цифр року затвердження або перегляду стандарту.

Назва технічних умов складається з індексу документа (ТУ), скороченої назви держави (У), коду підприємства (організації) – власника оригіналу (ТУ) із ОКПО (вісім знаків), реєстраційного номера, двох основних цифр року затвердження, наприклад: ТУ У 12345813.001–93.

Державні стандарти України затверджуються без обмеження строку їх дії. Також зняті всі обмеження на міжнародні стандарти (ГОСТ), термін дії яких закінчується у 1992–1996 роках.

Необхідна інформація про дію стандартів (ДСТУ, ГОСТ), зміни до них та скасування їх друкується у щорічному та щомісячному інформаційному покажчиках «Стандарти».

Римська декларація Всесвітнього продовольчого саміту 1996 року підтвердила право кожної людини на доступ до безпечних і поживних харчових продуктів відповідно до права на адекватні харчові продукти та права кожної людини на позбавлення голоду.

В Україні взаємовідношення у сфері виробництва і реалізації харчових продуктів – одного з головних чинників, що забезпечують здоров'я населення країни, – нині регулюються такими чинними законами:

• Про охорону навколишнього середовища: Закон України від 25 червня 1991 р. № 1264-XII;

• Про захист прав споживачів: Закон України від 15 грудня 1993 р.

• Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення: Закон України від 24 лютого 1994 р. № 4004-XII;

• Про якість та безпеку харчових продуктів і харчової сировини: Закон України від 23 грудня 1997 р. № 771/97-ВР;

• Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції: Закон України від 14 січня 2000 р. № 1393-XIV;

• Про підтвердження відповідності: Закон України від 17 травня 2001 р. № 2406-III;

• Про стандартизацію: Закон України від 17 травня 2001 р. № 2408-III;

• Про внесення змін до Закону України "Про захист прав споживачів" № 3161-IV від 1 грудня 2005 р.

Однак зазначені закони не вирішують повною мірою всіх правових проблем, пов'язаних із багатогалузевим ланцюгом здоров'я людини: їжа – виробництво лізація харчових продуктів та сировини.

Необхідність формування і реалізації науково-технічної політики в галузі здорового харчування диктується особливою важливістю цієї проблеми, зумовленої:

• погіршенням демографічної ситуації в Україні через переважання смертності населення над народжуваністю, у тому числі й у результаті зростання захворювань, зумовлених незадовільним харчуванням;

• порушенням збалансованості харчування населення України;

• споживання неякісних, фальсифікованих і небезпечних для здоров'я людини продуктів.

Нагальною потребою є вживання термінових заходів для підтримання вітчизняних виробників сільськогосподарської сировини та харчової продукції, підвищення рівня самозабезпечення країни харчовими продуктами і продовольчої безпеки країни.

Для зміни ситуації, яка склалася в Україні, ефективнішими є закони прямої дії. Тому у сфері охорони здоров'я населення та забезпечення його повноцінним харчуванням особливу актуальність має Закон «Про безпечність та

якість харчових продуктів». Цей закон встановлює правові засади забезпечення якості та безпечності харчових продуктів і продовольчої сировини та вимоги щодо запобігання ввезенню на територію України, виготовлення, реалізації, використання, споживання неякісних, небезпечних або фальсифікованих харчових продуктів, продовольчої сировини і супутніх матеріалів. Його виконання може здійснюватися за умови суворого контролю і нагляду за якістю та безпечністю харчових продуктів і продовольчої сировини під час їх виробництва, зберігання, транспортування, реалізації, використання, утилізації чи знищення спеціально уповноваженими центральними органами виконавчої влади в галузі охорони здоров'я, захисту прав споживачів, стандартизації, карантину рослин, їхніми органами в Автономній Республіці Крим, областях, районах, містах Києві і Севастополі в межах їхньої компетенції.

Проблема якості, харчової цінності і безпечності харчової продукції включає розроблення не тільки нормативної документації, а й методів контролю.

Методи контролю показників якості та безпечності широко представлено з різних стандартах, науково-технічній і навчальній літературі. Однак зазвичай ці методи часто базуються на різних принципах і тому під час досліджень одних і тих самих об'єктів дають великі розбіжності. Нині розроблено комплекс офіційних хімічних методів аналізу харчових продуктів, які мають встановлені за правилами 50 метрологічні характеристики.

Таким чином, забезпечення структури, безпечності і якості харчування – найважливіші стратегічні завдання держави на сучасному етапі розвитку України.

1.2. Міжнародні нормативно-правові основи безпеки харчової продукції

Кодекс Аліментаріус (Codex Alimentarius) – збірник уніфікованих міжнародних стандартів на харчові продукти, розроблених під керівництвом *FAO/WHO*, з метою захисту здоров’я споживачів і гарантування чесної практики в торгівлі.

Створення збірника програмних документів міжнародного харчового законодавства, яким є Кодекс Аліментаріус, зумовлено інтенсифікацією та глобалізацією сучасного виробництва харчових продуктів і міждержавних торгових відносин та необхідністю впровадження жорсткіших вимог до безпеки харчових продуктів.

Кодекс Аліментаріус містить основні положення щодо гігієни харчових продуктів, харчових добавок, залишків пестицидів, контамінантів, маркування і представлення продуктів, методів аналізу та відбору, а також положень рекомендаційного характеру, яких повинна дотримуватися міжнародна спільнота для захисту здоров'я споживачів і забезпечення однакових торговельних методів.

Кодекс Аліментаріус складається з двох основних частин:

1) ***загальні стандарти (****горизонтальні стандарти****)*** – правила і нормативи, які поширюються на всі групи харчових продуктів;
2) ***стандарти за групами продуктів (****вертикальні стандарти****)***.

Загальні стандарти передбачають: порядок маркування продуктів; застосування харчових добавок; вміст контамінантів; методи аналізу та відбору проб; харчову гігієну; продукти спеціального харчування; інспекцію імпорту й експорту спеціального харчування та системи сертифікації; залишкові рівні пестицидів у продуктах.

Законодавчим і законотворчим органом створення збірника програмних документів міжнародного харчового законодавства стала ***Комісія Кодексу Аліментаріус***. Вона створена спільними зусиллями двох міжнародних організацій – Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН (*FAO* – Food and agriculture organization, ФАО) і Всесвітньою організацією охорони здоров'я (*WHO* – World healthy organization, ВООЗ) у1963 р.як допоміжний орган для впровадження спільної *FAO/WHO* програми стандартів на продукти харчування. На даний час Комісія Кодексу Аліментаріус – це впливовий міжурядовий орган, членами якого є більше 170 держав. Основним завданням діяльності Комісії Кодексу Аліментаріус – створення погоджених на міжнародному рівні правил національної системи контролю за продуктами.

Реалізація цього завдання потребувала: розвитку міжнародних харчових стандартів; застосування наукового підходу і аналізу ризиків; розвиток зв'язків кодексу з іншими регулювальними організаціями; забезпечення можливостей швидкого й ефективного реагування на проблеми, що виникають, і нові розробки в харчовому секторі; залучення нових учасників комісії тощо.

Стандарти за групами продуктів містять низку розділів, які наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Поділ стандартів на розділи за групами продуктів

Розділ	Назва розділу	Що містить
1.	Галузь застосування	Назву товару та цілі його використання.
2.	Опис	Терміни і визначення, опис продукту, його основний склад і показники якості.
3.	Харчові добавки	Перелік і максимальні рівні технологічно дозволених харчових добавок.
4.	Контамінанти	Кількість забруднювачів (важких металів, пестицидів) у продуктах, що належать до сфери дії конкретного горизонтального стандарту.
5.	Гігієна	Принципи харчової гігієни та мікробіологічні критерії для харчових продуктів, на які поширюється дія конкретного стандарту.
6.	Маси і міри	Вагу товару, наповнення тари.
7.	Маркування	Правила маркування харчових продуктів, що належать до сфери дії конкретного стандарту відповідно до кодексу загальних стандартів з маркування.
8.	Методи аналізу і відбору проб	Опис методів аналізу та відбору проб для харчових продуктів, на які поширюється дія конкретного стандарту.

Кодекс Аліментаріус складається з 13 томів (таблиця 1.2):

Таблиця 1.2

Перелік основних томів Кодексу Аліментаріус

№ тому	Назва тому
1.	Загальні вимоги
2.	Залишковий рівень пестицидів у харчових продуктах
3.	Залишкові рівні ветеринарних лікарських препаратів у харчових продуктах
4.	Продукти спеціального харчування
5.	Фрукти й овочі
6.	Фруктові й овочеві соки, нектари
7.	Зернові, бобові й продукти з них, а також білки рослинного походження
8.	Олії та жирові продукти
9.	Риба та вироби з риби
10.	М’ясо та м’ясні продукти, супи та бульйони
11.	Цукор, какао-продукти, шоколад та інші продукти
12.	Молоко та молочні продукти
13.	Методи аналізу та відбору проб

Основними організаційно-структурними елементами Комісії Кодексу Аліментаріус є, власне, Комісія, Виконавчий комітет, Секретаріат і допоміжні органи (комітети із загальних питань – горизонтальні; комітети з окремих

товарів – вертикальні; координаційні комітети *FAO/WHO* регіонів та спеціальні міжурядові робочі групи).

Національна комісія України з Кодексу Аліментаріус (НККАУ) створена постановою Кабінету Міністрів України №169 від 16 лютого 1998 р. «Про створення Національної комісії України зі зводу харчових продуктів Кодексу Аліментаріус». На сьогодні Комісія діє на підставі ст. 8 чинного Закону України «Про безпечність та якість харчових продуктів» та Постанови Кабінету Міністрів України від 3 липня 2006 р. №903 «Питання Національної Комісії України з Кодексу Аліментаріус».

Основними завданнями НККАУ є:

- аналіз міжнародного та вітчизняного законодавства й розроблення пропозицій щодо удосконалення законодавства у сфері безпечності та якості харчових продуктів;
- гармонізація вітчизняного законодавства з міжнародним у зазначеній сфері;
- сприяння впровадженню нових технологій, міжнародних стандартів, вітчизняних технічних регламентів і міжнародних санітарних заходів у сфері виробництва харчових продуктів і нових методів їх дослідження.

До складу Комісії входять провідні спеціалісти наукових та інших установ, підприємств і організацій, представники центральних органів виконавчої влади з питань охорони здоров’я, аграрної політики, технічного регулювання та споживчої політики, економіки.

НККАУ для виконання покладених на неї завдань утворює постійно діючі комітети та тимчасові робочі групи за відповідними напрямками діяльності, регламент і персональний склад яких затверджує голова Комісії.

Міжнародний стандарт ISO 22000:2005 Вимоги споживачів до безпеки харчових продуктів постійно зростають, що зумовлює появу певних стандартів у цій галузі. Глобалізація торгівлі дозволяє уніфікувати вимоги до харчових продуктів і сировини, прийняті в різних країнах. Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization, ISO) 1 вересня 2005 року опублікувала стандарт ISO 22000:2005 «Системи управління

безпекою харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга». Цей стандарт є основою гармонізованих на міжнародному рівні вимог до безпеки харчових продуктів і охоплює принципи системи НАССР.

Основна перевага ISO 22000:2005 полягає в тому, що цей стандарт об’єднує й уніфікує вимоги до гарантування безпеки харчових продуктів, завдяки чому організації з різною спеціалізацією в межах виробничого ланцюга можуть застосовувати систему управління безпекою харчових продуктів *HACCP*. Крім того, системи управління безпекою харчових продуктів, які відповідають вимогам ISO 22000:2005, можуть бути сертифіковані. Органи сертифікації саме цю модель системи менеджменту вважають найвдалішою для харчових підприємств.

До сфери поширення системи менеджменту безпеки харчової продукції за стандартами серії ISO 22000 зараховують такі види діяльності: виробництво сільськогосподарської продукції; внесення добрив для підвищення родючості ґрунтів; використання засобів боротьби зі шкідниками; збирання та зберігання врожаю; перероблення сировини; транспортування та зберігання сировини; виробництво харчової продукції; зберігання готової продукції; громадське харчування.

Упровадження стандартів серії ISO 22000 дає змогу організаціям отримати такі переваги: визнання безпеки харчової продукції споживачами; пріоритети в отриманні замовлень від інших компаній, які вимагають від своїх постачальників сертифікованої системи безпеки харчової продукції; розширення ринку збуту харчової продукції; додаткові конкурентні переваги на тендерах і конкурсах; досягнення більшої відповідності міжнародним вимогам. У 2007 р. набув чинності ДСТУ ISO 22000:2007 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга», повністю гармонізований з ISO 22000.

Загальні принципи й вимоги до європейських законів про безпеку харчових продуктів визначає Регламент 178/2002, GFL. Він складається з трьох частин. У першій викладено загальні принципи та вимоги харчового законодавства, у другій визначено створення Європейського органу з безпеки харчових продуктів, а в третій – процедури, пов’язані з питаннями гарантування продовольчої безпеки.

Регламент 178/2002 визначає такі основні принципи:

- харчовий ланцюг має розглядатися як єдине ціле (принцип «від лану до столу»);
- аналіз ризиків є фундаментальною складовою політики безпеки харчових продуктів;
- відповідальність за безпеку харчових продуктів покладається на підприємців харчової галузі, які здійснюють виробництво й обіг харчових продуктів і кормів;
- продукти мають відстежуватися на всіх етапах харчового ланцюга;
- громадяни мають право на одержання від органів державної влади точної та достовірної інформації.

Харчові продукти вважають небезпечними, якщо вони шкідливі для здоров’я або не придатні для споживання людиною.

1.3. Система забезпечення безпечності харчових продуктів – Hazard Analysis Control Critical Points (HACCP)

Нинішню екологічну ситуацію, стан харчування і здоров'я населення України провідні вчені оцінюють як загрозливі для національної безпеки чинники. У такій ситуації підвищення якості і безпечності харчових продуктів є одним із найважливіших і пріоритетних завдань держави. Щоб встановити, забезпечувати і підтримувати необхідний рівень якості продукції, таким чином, забезпечити її конкурентоспроможність, українські підприємства дедалі частіше звертаються до досвіду закордонних країн щодо методології управління якістю.

Найефективнішим методом забезпечення якості та безпечності харчової продукції нині у світі визнано систему НАССР (Hazard Analysis Control Critical Points – аналіз ризиків у контрольних критичних точках). Це науково обґрунтований, раціональний і систематичний підхід до ідентифікації продукції, оцінювання та контролю ризиків, які можуть виникнути під час виробництва, перероблення, зберігання та використання харчових продуктів. Принципи системи НАССР рекомендовано до практичного застосування Комісією *Codex Alimentarius*і є обов'язковими для країн ЄС на всіх харчових підприємствах.

План НАССР, або план управління безпечністю даного харчового продукту контролює всі чинники які впливають на парметри його безпечності аналогічно тому, як відома промисловості програма якості виробництва конкретного продукту і контролює всі фактори, які впливають на заздалегідь ідентифіковані параметри якості даного продукту. Кожна конкретна програма визначає порядок і послідовність дій та контролю на визначеному етапі виробництва чи обробки.

План НАССР, або програму якості виробництва даної продукції не слід плутати з планами якості, що пов’язані з плануванням наступних поліпшень. Таким чином, програма якості – це інструмент для досягнення ідентифікованих параметрів якості (безпечності), інструмент, який надає додаткові гарантії того, що вимоги доя кості даного продукту виконуватимуться послідовно та стабільно.

Система НАССР набула великого поширення у світовій практиці завдяки тому, що вона працює з будь-якими харчовими продуктами і з будь-якою системою виробництва. Для адаптації цієї методики в Україні Укрметртестстандарт розробив і затвердив національний стандарт ДСТУ 4161-2003 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги», який включив загальні принципи функціонування системи, а також вимоги Директиви 93/43 «Про гігієну харчових продуктів».

Вперше систему НАССР розроблено в США в 1960-х роках у хімічній промисловості зі спрямуванням на гарантію якості й дотримання безпечності

під час виробництва продуктів, її розробка пов'язана з американською програмою космічних польотів, а точніше – з виробництвом харчових продуктів для американських космонавтів. У розробці цієї програми виробнику «космічної їжі» компанії Pilsburyпоставили дуже суворі вимоги. NASA хотіла мати механізм, що виключає утворення токсинів у харчовій продукції, яку споживають астронавти в космосі і, як наслідок, запобігає захворюванням, спричиненим неякісними харчовими продуктами.

Застосувавши традиційні методи управління виробництвом, компанія не змогла навіть наблизитися до поставлених перед нею вимог, їй на допомогу направили групу спеціалістів з організації NASA і військової лабораторії Армії США з міста Натік. NASA мала вирішити дві принципові проблеми безпечності харчових продуктів для космонавтів. Перша стосувалася можливих проблем «поведінки» частинок їжі в космічному апараті за відсутності гравітації. Друга проблема – захист харчових продуктів від усіх патогенних мікроорганізмів і біологічних токсинів. Харчове отруєння в умовах космічного польоту рівнозначне катастрофі.

Поява харчових крихт в умовах невагомості вирішувалася проектуванням продуктів «на один ковток», використанням спеціального покриття для скріплення харчового продукту та спеціалізованої упаковки.

Проблема мікробіологічної безпеки вирішувалася важче. Відбір проб кінцевого продукту кожної партії космічної їжі був непрактичним і майже неможливим. Вирішення цієї проблеми потребувало альтернативного підходу.

Лабораторія Армії США розробила інженерну систему FMEA (аналіз видів і наслідків відмов), яка становить технологію аналізу можливості виникнення дефектів та їхніх впливів на споживача. Збір інформації про харчовий продукт і процес його виготовлення давав можливість передбачити, що могло становити небезпеку, де і як це могло відбуватися в технологічному процесі. Спільна робота завершилася створенням системи управління виробництвом і отримала назву HACCP.

Компанія Pilsbury вперше доповіла про створення системи управління виробництвом 1971 року на конференції з безпечності харчових продуктів,

проте матеріали цієї конференції опубліковано лише 1986 року. Саме з того чау в США розпочалися роботи з розроблення «Настанови щодо системи НАССР» які фінансував уряд. Перша настанова з'явилася 1989 року, і з того часу її почали швидко впроваджувати у харчовій промисловості США, а потім й інших країн. 1993 року документ було ухвалено і рекомендовано до застосування комісією *Codex Alimentarius.* Спочатку система НАССР базувалася на данському стандарті DS 3027 E, потім було розроблено європейський стандарт, а нині вже існує міжнародний стандарт DS/ENISO 9000, який Держстандарт України запровадив як національний з 1 січня 2003 року. Різні міжнародні організації – FAO, Codex Alimentarius, Міжнародна комісія мікробіологічних специфікацій для харчової продукції (ICMSF), Міжнародна асоціація виробників молока, харчової санітарії та оздоровлення довкілля (IAMFES) рекомендували використання системи НАССР як один з кращих методів гарантії безпечності харчових продуктів.

НАССР (HazardAnalysisControlCriticalPoints) – аналіз ризиків у контрольних критичних точках. Система контролю виробничого процесу, яка визначає етапи, на яких можливе виникнення ризиків, а також спеціальні заходи контролю для забезпечення випуску безпечних харчових продуктів.

Безпечність харчової продукції – відповідність харчової продукції санітарним правилам, нормам і гігієнічним нормативам, ветеринарним і фітосанітарним правилам, дотримання яких виключає небезпечний вплив на життя та здоров'я людей нинішнього і майбутнього поколінь.

Небезпечний чинник (ризик) – біологічний, хімічний чи фізичний чинник або стан харчового продукту, здатні негативно впливати на здоров'я.

Потенційний ризик – ризик, який може виникнути.

Суттєвий ризик – потенційний ризик, який відповідно до аналізу ризиків потребує управління.

Аналіз небезпечних чинників (ризиків) – процес збирання і оцінювання інформації щодо ризиків та умов, які сприяють їхньому виникненню, для визначення тих з них, які є суттєвими для безпечності харчових продуктів і тому мають бути включеними до НАССР-плану.

Критична контрольна точка (ККТ) – сировина, технологічна операція, рецептура продукту або процес, щодо яких необхідно застосовувати певні заходищодо запобігання небезпечності або зниження її до мінімуму. Контроль необхідно здійснювати в усіх точках технологічного процесу, але критичними точками є лише ті, які можуть загрожувати безпечності продукту.

Критичні межі – межі біологічного, хімічного або фізичного стану між допустимим і недопустимим рівнем вимірюваного параметру.

Контроль – стан, за якого необхідні методики виконують, а критерії дотримують.

Контролювати – здійснювати всі необхідні дії для досягнення і дотримання відповідності прийнятим HACCP критеріям.

Заходи контролю – будь-які дії чи роботи, спрямовані на запобігання чинникам, що загрожують безпечності харчових продуктів, чи зниження їхнього впливу до прийнятного рівня.

Моніторинг – систематичний нагляд, вимірювання, реєстрація і оцінювання складників процесу отримання, виробництва і реалізації продукції. Саме моніторинг дає змогу оцінити ступінь ризику для здоров'я людини від споживання продукту через надходження з їжею різних контамінантів.

Коригувальна дія – будь-яка дія, яка має бути виконана в тому разі, коли результати моніторингу вказують на втрату контролю.

Перевірка – оцінка загальної ефективності виконаних робіт з управління системою забезпечення якості. Це дає змогу визначати перелік потенційно небезпечних чинників, відповідних їм критичних точок, критичних меж і здійснювати моніторинг для кожної ККТ.

Ведення обліку – невіддільний елемент концепції, що забезпечує стабільність системи. Дані обліку мають містити роз'яснення, визначені ККТ, процедури контролю і модифікації системи, результати моніторингу і перевірок, дані про відхилення від нормальної практики.

Виробничий процес – сукупність взаємопов'язаних операцій від моменту отримання матеріальних ресурсів до відправлення готової продукції споживачеві.

Дерево рішень – послідовність питань, які можуть бути поставлені на кожному виробничому етапі для виявлення ризиків для їх подальшого корегування.

Діаграма послідовності операцій – схематичне подання послідовних етапів або операцій, які здійснюють під час виробництва конкретного харчового продукту.

Сировина – матеріали, які використовують для виробництва продукту. У НАССР до неї належать матеріали, які використовують у переробці, контактують із продуктом у процесі виробництва, тобто інгредієнти, добавки, проміжні продукти і упаковка.

НАССР-план – документ, підготований відповідно до принципів НАССР для забезпечення управління суттєвими ризиками в рамках сфери використання системи НАССР.

Валідація НАССР – отримання об'єктивного доказу того, що елементи НАССР-плану результативні.

Верифікація НАССР – систематичне обстеження, яке включає методи аудиту, процедури, тестування та інше оцінювання на доповнення до моніторингу НАССР для визначення відповідності НАССР-плану.

Опис продукту – передбачає опис сировини і самого продукту або його категорії.

Етап(операція) – будь-яка стадія життєвого циклу харчових продуктів.

Контамінант (забруднювач) – будь-яка біологічна чи хімічна речовина, сторонній предмет, що не навмисно додані до продукту і можуть ставити під загрозу його безпечність і придатність для споживання.

Система НАССР пропонує поділити весь процес виробництва на блоки і запровадити системи контролю за потенційними ризиками щодо кожного з цих блоків. Передбачається, що детальний аналіз ризиків, кваліфіковане, відповідальне виконання операцій кожним фахівцем харчового підприємства і ведення документації на всі заходи дадуть змогу мінімізувати вірогідність виробництва неякісної продукції.

Концепцію НАССР можна розглядати в двох варіантах – «НАССР у застосуванні до певного продукту» і «"Загальна концепція НАССР». На практиці НАССР застосовують в основному для певних продуктів. Повна концепція НАССР є альтернативним підходом, який здебільшого застосовують підприємства з широким асортиментом продукції. Нині розроблено багато моделей повної концепції НАССР. Вони мають стати основою стандартів, хоча й потребують подальшого вдосконалення урядовими інституціями і промисловістю.

Ефективність системи НАССР визначають сімома принципами, на яких базується її використання:

- Аналіз небезпечних чинників
- Визначення критичних контрольних точок
- Визначення критичних меж
- Розроблення системи моніторингу
- Розроблення та застосування коригувальних дій
- Розроблення процедур перевірки
- Документування процедур і реєстрація даних

Застосування принципів системи НАССР на практиці створює необхідні умови для гарантованого випуску безпечної продукції.

І. Аналіз небезпечних чинників, пов'язаних із виробництвом харчових продуктів, проводиться на всіх стадіях життєвого циклу продукту – від розведення або вирощування до кінцевого споживання, охоплюючи стадії обробки, переробки, зберігання, транспортування та реалізації. Крім того, виявляються умови виникнення небезпечних чинників і вживаються заходи щодо їх контролю на всіх стадіях. Система НАССР вирізняє три види небезпечних чинників, які можуть вплинути безпечність продукції: біологічні, хімічні та фізичні.

ІІ. Визначення критичних контрольних точок (точок, де найвища ймовірність виникнення потенційної небезпеки) необхідне для усунення мінімізації) впливу небезпечних чинників або можливості їх появи.

Система НАССР відносить до контрольних критичних точок передусім ті технологічні операції, які призначені для вилучення небезпечного чинника чи зниження його до допустимого рівня. Наприклад, під час виробництва питного молока зольною критичною точкою є його пастеризація, мета якої – знищення патогенних мікроорганізмів.

Критична контрольна точка в системі НАССР – це не лише перевірка технологічного процесу, а й контроль для управління безпечністю продуктів.

III. Визначення критичних меж має за мету розмежування допустимих і недопустимих показників. Критичних меж потрібно дотримуватися для того, щоб упевнитися, що критична точка перебуває під контролем.

Критичні межі визначають для того технологічного параметру, який відповідає за усунення небезпечного чинника в ККТ. Наприклад, на стадії пастеризації молока таким параметром є температура. Під час пастеризації молока критичними межами температури пастеризації можуть бути 85ºС (нижня межа) і 95°С (верхня межа).

Граничні значення мають задовольняти вимоги урядових технічних (технологічних) регламентів і стандартів або підтверджуватися науковими даними. Офіційні контрольні органи в харчовій галузі надають потрібну для встановлення граничних значень інформацію виходячи з відомих харчових небезпек і результатів аналізу ризику.

IV. Розроблення системи моніторингу дає змогу забезпечити контроль у критичних точках технологічного процесу за допомогою запланованого випробування або спостереження.

Моніторинг у системі НАССР визначають вимірюванням технологічного параметра в ККТ і порівнянням отриманих даних із критичними межами. Система моніторингу повинна надавати своєчасну і достовірну інформацію про вимірюваний параметр. Існує кілька способів моніторингу граничних меж ККТ. Моніторинг може здійснюватися на неперервній (100 %) основі або для окремих партій продукції. Перший спосіб дає динамічну картину виконання, другий – уявлення про весь продукт через моніторинг окремих зразків.

Для кожної критичної межі має бути визначено п'ять ключових аспектів, які надають інформацію про те:

• що підлягає моніторингу;

• де здійснюватиметься моніторинг;

• як здійснюватиметься моніторинг критичних меж і запобіжних заходів;

• коли (частота моніторингу);

• хто здійснюватиме моніторинг.

V. Розроблення та застосування коригувальних дій здійснюють для кожної критичної контрольної точки на той випадок, якщо система моніторингу покаже, що вимірюваний технологічний параметр вийшов за критичні межі.

Наприклад, якщо термометр у пастеризаторі молока показує, що температура процесу пастеризації менша за нижню межу (85°С), то необхідно завчасно визначити, які коригувальні дії здійснювати, щоб усунути причини відхилення процесу від норми і повернути температуру пастеризації до середини критичних меж.

Настанови *Codex Alimentarius* щодо застосування системи НАССР визначають відхилення як «невідповідність граничному значенню». Мають бути запроваджені процедури для ідентифікації, ізолювання та оцінки продуктів, коли критичні межі в ККТ перевищуються.

Процедури коригувальних дій необхідні для визначення причини виникненню і запобігання повторному відхиленню, подальшого відстеження через моніторинг і повторну оцінку, забезпечення впевненості в ефективності вжитих заходів.

Дані реєструють у протоколах, що дає можливість перевірити, як виробник контролює відхилення і виконує ефективні коригувальні дії.

VI. Розроблення процедур перевірки дає можливість упевнитися в ефективності функціонування системи.

Мета перевірок – виявлення помилок, які трапляються під час розроблення й запровадження системи НАССР на конкретному підприємстві. Перевірка включає:

• підтвердження плану НАССР;

• внутрішні аудити системи НАССР;

• калібрування обладнання;

• цільовий відбір і випробування зразків.

Підтвердження передбачає забезпечення плану, який ґрунтується на сучасних перевірених наукових даних і наявній інформації, а також взаємопов'язаний з конкретним продуктом і процесом.

Внутрішні аудити як частину перевірки здійснюють для порівняння фактичної практики і процедур плану НАССР. Це систематичні та незалежні перевірки, які передбачають спостереження на місці, опитування працівників та аналіз протоколів для визначення впровадження в систему НАССР процедур і дій плану. Внутрішні аудити здійснюють незалежні особи, не залучені до впровадження системи НАССР.

Калібрування передбачає перевірку приладів чи технічного обладнання на відповідність еталону для забезпечення потрібної точності й вірогідності моніторингу.

Цільовий відбір і випробування передбачають періодичний відбір проб продукту та їх дослідження для перевірки відповідності критичним межам. Для оцінки ефективності плану НАССР важливе значення мають мікробіологічні дослідження.

Перевірка має здійснюватися відповідно до плану-графіка та щоразу, коли є передумови: результати спостережень на місці, що вказують на можливість порушення критичних меж у ККТ; результати аналізу протоколів, що вказують на непослідовність моніторингу; претензії споживачів або бракування продукції замовниками; нові наукові дані.

Дані перевірок заносять до протоколів, де зазначають методи, дату, відповідальних працівників, організації, виявлені порушення і вжиті заходи.

VII. Документування процедур і реєстрація даних, необхідних для функціонування системи, слугують доказовою базою того, що процес виробництва перебував під контролем.

Система документування НАССР складається з документів, створених під час розроблення та впровадження системи на підприємстві. Головним

документом є план НАССР із переліком ККТ, вимірюваних параметрів технологічного процесу та їхніх критичних меж. У ньому також представлено коригувальні дії, план перевірок і перелік записів, які свідчать про те, що процес виробництва перебував під контролем і продукція є безпечною.

На відміну від системи контролю якості і безпечності продукції, яка існує в Україні і базується на періодичних випробуваннях, НАССР передбачає заходи, що забезпечують необхідний рівень показників безпечності продукції в процесі її виробництва, причому саме в тих критичних точках технологічного процесу, де може виникнути загроза появи небезпечних чинників. Система дозволяє виділити всі потенційно небезпечні чинники у харчовому продукті та запобігти їх виникненню.

Порівняно з іншими системами якості НАССР має низку переваг, зокрема, вона:

• дає змогу підприємствам змінити підхід до безпечності та якості харчових продуктів від ретроспективного до превентивного;

• дає змогу однозначно визначити відповідальність за досягнення безпечності харчових продуктів;

• надає споживачам документально підтверджену впевненість щодо безпечності харчових продуктів;

• забезпечує системний підхід, який включає всі характеристики безпечності харчових продуктів від сировини до кінцевого продукту;

• дає змогу економне використовувати ресурси для управління безпечністю харчових продуктів;

• надає додаткові можливості за інтеграції з ISO 9000;

• відповідальність за виконання умов, які гарантують якість продукції, покладає безпосередньо на виробника;

• зменшує перешкоди на шляху до міжнародної торгівлі. Впровадження такої системи на підприємстві дає змогу визначати, наскільки добре воно контролює процес виготовлення й оцінити його рівень із досягнення рівня безпеки харчової продукції відповідно до встановлених стандартів.

Систему НАССР застосовують під час поточного автоматизованого виробництва на більшості закордонних харчових підприємствах, її постійно розвивають – уточнюють допуски на контрольовані показники, підвищують точність методів аналізу. У результаті досліджень, проведених інститутом харчової промисловості Англії, систему суттєво удосконалено і поєднано з технологічним циклом виробництва. Нову систему PRO-GFOOD було представлено на Лондонській виставці 1994 року і нині впроваджують у країнах Європи. В Україні система НАССР відома лише вузькому колу фахівців і досі не знайшла застосування через невисоку оснащеність автоматичними методами аналізу харчових виробництв. Впровадження системи НАССР є дуже перспективним для нашої країни, оскільки в ній розглядаються не тільки елементи ідентифікації і аналізу ризику, а й елементи управління критичними точками з оцінкою результатів цього управління. Це створить на підприємствах реальну можливість для організації і підтримання в порядку ефективної і функціональної системи якості.

1.4. Штрихове кодування і товарна класифікація експортно-імпортних продовольчих товарів

У міжнародній практиці виробництва і торгівлі прийнято штрихове кодування товарів, що дає можливість ефективно управляти їх виробництвом, здійснювати сортування, відбір, відвантаження товарів, а в сфері торгівлі – приймати товари, контролювати запаси, відбирати і відвантажувати товари зі складів в роздрібну торговельну мережу.

Якщо врахувати, що в системі споживчої кооперації України станом на 01.01.1997 року нараховувалось 329 торгівельних баз, у тому числі 127 універсальних, 101 госпрозрахункова база райспоживспілок та райспоживтовариств і 21635 магазинів по торгівлі продовольчими товарами, то не важко зрозуміти значимість і ефективність використання штрихового кодування.

Вперше штрихове кодування товарів було здійснене в США у 1973 році. Була розроблена система «Універсальний товарний код» (UPS – Universal Product Code) для використання в промисловості і торгівлі.

В США близько 90 % усіх основних товарів мають штрихове кодування.

В Західній Європі для ідентифікації споживчих товарів з 1977 року почала використовуватись аналогічна система під назвою «Європейський артикул» (EAN – EuropeanArticleNumbering). В Німеччині близько 80%, у Франції близько 70 % товарів мають штрих-коди.

Після прийняття Декларації про незалежність України була створена Українська асоціація «СКАНА», яка розробляє стандарти, програмно-технічні засоби, впроваджує штрихове кодування. З метою широкомасштабного залучення вітчизняних підприємств до системи EAN заснована Національна Нумеруюча Організація «EAN-Україна». Згідно з Державною програмою про перехід на міжнародну систему обміну і статистики організовані регіональні центри штрихового кодування. Наприклад, на базі науково-виробничої фірми «Кодіак» діє західний регіональний центр штрихового кодування.

Використання штрихового кодування дає можливість втілити автоматизовану ідентифікацію товарів на базі комп'ютерної техніки, що значно підвищує продуктивність праці, суттєво зменшує витрати обігу, дає значний економічний ефект. Використання штрих-кодів в системі торгівлі спрощує працю касира приблизно на 30%, скорочує час приймання покупцем чека за куплений товар і час введення даних в електронно-обчислювальну машину, збільшує обсяги продажу товарів.

Автоматизований облік проданих товарів дозволяє стежити за наявністю їх на складах, в роздрібних торговельних підприємствах і її разі необхідності швидко подавати товари зі складів в торговельні підприємства. Такий облік надає оперативну інформацію про наявність або відсутність ходових товарів, що користуються попитом населення, про наявність товарів, що швидко псуються тощо.

Використання штрихового кодування дозволяє значно покращити і оптимізувати такі технологічні процеси: у сфері виробництва – сортування, підрахунок, облік, контроль запасів, відбір і відвантаження товарів; у сфері оптової торгівлі – приймання товарів, контроль запасів, відбір, відвантаження, розрахунки за товар; у сфері транспортування – одержання, відбір і

відвантаження товарів; у сфері роздрібної торгівлі – приймання товарів, відвантаження зі складів, продаж, контроль запасів і асортиментного переліку, обсягів продажу тощо.

Використання штрихового кодування на виробництві в оптовій і роздрібній торговельній мережі дає можливість одержати прибутки від 12 до 30% вартості кодованих товарів.

Штриховий код складається з чіткого рисунка вузьких і широких смуг, пробілів між ними і чисел, який наноситься на упаковку за допомогою поліграфічної техніки: матричних, термічних, лазерних і струменевих принтерів. Смуги і пробіли між ними позначаються певними цифрами в кодах електрообчислювальної машини, яка «зчитує» їх скануючою системою.

Інформація, що «зчитується» машинним способом з великою швидкістю і достовірністю, на два порядка вища, ніж при клавіатурному введенні.

Кожний товар має свій індивідуальний штриховий код. Для «зчитування» кодів використовують обладнання ручне і стаціонарне. Ручне обладнання поділяють на контактне і дистанційне. Робочим елементом контактного обладнання є світлове перо, що рухається безпосередньо по поверхні штрихового коду. Таким чином вимірюється інтенсивність відбитого світла від чорних і білих смуг коду.

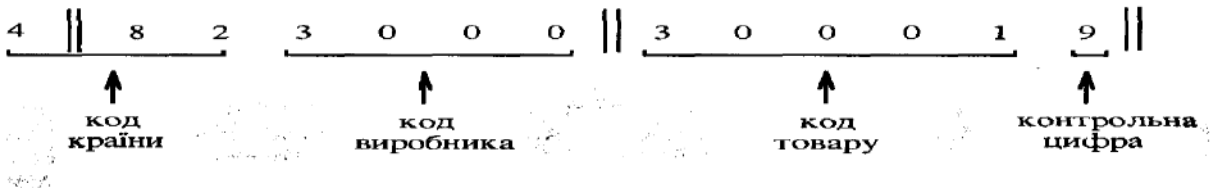
В дистанційному обладнанні використовують лазерний або інший промінь і код «зчитується» на відстані до одного метра, а також і через прозору упаковку. Після «зчитування» на табло висвітлюється ціна товару, яка вводиться попередньо в ЕОМ.

Одночасно у центральний комп'ютер надходить інформація, що товар проданий. Комп'ютер підраховує кількість товару, що залишається, і при необхідності вимагає зі складу нову партію цього товару.

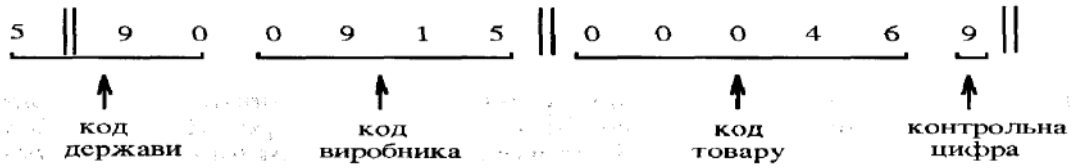
Цифровий еквівалент коду EAN-13 складається з 13 цифр. Перші зліва направо три або рідше дві цифри називають префіксом. Він позначає державу походження, виробника або продавця товару. Його ще називають «прапором країни». Наступні 4-5 цифр позначають реєстраційний номер фірми, відомства, виробника товару, 8-12 цифри – товарний код, який присвоюється продукції з

урахуванням вимог системи EAN, остання 13 цифра – контрольна, яка використовується для перевірки правильності «зчитування» попередніх цифр коду скануючою системою.

Наприклад, штрих-код майонезу Провансаль, виготовленого в Україні (Львівський жирокомбінат), має такий цифровий вираз:



Штрих-код молочного шоколаду з кокосовими горіхами «Бамбо», виготовленого в Польщі (Познанський Greenvital Ltd.) має такий цифровий вираз:



Кожна країна має присвоєний їй префікс. Наприклад, США, Канада – 00-09, Мексика – 75.0, Аргентина – 77.9, Бразилія – 78.9, Німеччина – 40-44.0, Великобританія, Ірландія – 50, Данія – 57, Фінляндія – 64, Туреччина – 86.9, Австрія – 90-91, Норвегія – 70, Угорщина – 59.9, Греція – 52.0, Китай – 69.0, Японія – 49. Частину коду, що характеризує країну (префікс), встановлює Міжнародна асоціація по кодуванню виробів. Частину коду, що характеризує підприємство виробника, присвоює відповідна національна асоціація. В Україні ці функції викопує асоціація «СКАНА». Частину коду, що характеризує товар, присвоює асоціація товарної нумерації «EAN-Україна», яка створена відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 12 грудня 1994 р. № 860.

Крім зазначеного штрихового кодування, в Україні з 1993 року впроваджена Гармонізована система опису і кодування товарів (ГС), що становить класифікацію експертно-імпортних продовольчих товарів, за якою

вони розподілені у чотирьох розділах, а в кожному розділі товари об'єднуються у декілька груп.

В розділі 1 – «Живі тварини і продукція тваринництва» товари об'єднані у п'ять груп: група 01 – «Живі тварини»; група 02 – «М'ясо і субпродукти харчові»; група 03 – «Риба і ракоподібні, молюски і інші водні безхребетні»; група 04 – «Молоко і молочні продукти, яйця птиці, мед натуральний»; група 05 – «Інші продукти тваринного походження (кістки, шкурки, губки натуральні тваринного походження, амбра сіра та ін.)».

В розділі 2 – «Продукти рослинного походження» товари об'єднані у 13 груп.

В розділі 3 – «Жири і масла тваринного або рослинного походження, продукти їх розщеплення, приготовлені харчові жири, віск тваринного і рослинного походження» об'єднані у 15 груп.

У розділі 4 – «Продукція харчової промисловості, алкогольні і безалкогольні напої, оцет, тютюн і його замінники» об'єднані у групи 16–24.

Код кожному товару присвоюється з урахуванням номера групи, номера найменування товару в даній групі і має не менше чотирьох знаків. Наприклад, м'ясо великої рогатої худоби свіже або охолоджене, яке значиться у групі 02 під номером 1, буде мати код 02.01; м'ясо свиней свіже, охолоджене або морожене, що значиться в цій же групі під номером 3, буде мати код 02.03; томати свіжі або охолоджені, що входять у групу 07 під номером 2, будуть мати код 07.02.

Гармонізована система опису і кодування продовольчих товарів «проваджена з метою полегшення заповнення митних, банківських, страхових, статистичних документів і є неодмінною умовою контрактів купівлі-продажу.

Питання для контролю та самоперевірки

1. Які закони України регламентують безпечність харчовії продукції.
2. Назвіть основні поняття системи контролю Hazard Analysis Control Critical Points (HACCP).
3. На яких принципах базується система контролю HACCP.
4. Основні завдання державної політики в галузі забезпечення населення якісними і безпечними продовольчими товарами.

5. Що таке Кодекс Аліментаріус та які його основні функції?
6. Яка структура Кодексу Аліментаріус?
7. Які основні завдання діяльності Комісії Кодексу Аліментаріус?
8. Національна комісія України з Кодексу Аліментаріус, її основні завдання та напрямки діяльності.
9. Охарактеризуйте системи гарантування безпеки харчових продуктів (*HACCP*), сформулюйте її головні завдання.
10. Укажіть основні контрольні заходи *HACCP* й етапи їх реалізації.
11. Перечисліть переваги *HACCP* над іншими системами якості.
12. Для чого потрібен міжнародний стандарт ISO 22000:2005?
13. На які види діяльності поширюються системи менеджменту безпеки харчової продукції за стандартами серії ISO 22000?
14. Які переваги для підприємств дає впровадження стандартів серії ISO 22000?
15. Укажіть основні завдання та принципи Регламенту 178/2002, GFL.
16. Що таке «безпека харчового продукту» та «безпечний харчовий продукт»?
17. Розкрийте суть Закон України „Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”.
18. Які положення регламентує Закон України „Про захист прав споживачів”?

ТЕМА 2. ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

2.1. Класифікація забруднювачів продуктів харчування

Забезпечення людини повноцінними безпечними продуктами харчування – важлива соціально-екологічна проблема. За даними гігієністів, від 30 до 80% шкідливих хімічних речовин надходить в організм людини з навколишнього природного середовища. Харчові продукти – складні багатокомпонентні суміші, до складу яких входять органічні й неорганічні хімічні сполуки різних класів. Основну частину їх складають речовини-нутрієни, характерні для

даного виду продуктів рослинного і тваринного походження, які мають *аліментарн е*(харчове, споживче, засвоюване) значення. Це – білки, вуглеводи, ліпіди, вітаміни, мінеральні речовини. *Неаліментарними* умовно називають речовини, які містяться у продуктах харчування, – попередники РН або продукти їх розпаду. Вони відповідають за органолептичні властивості харчових продуктів, є біологічно активними речовинами, можуть проявляти фармакологічні властивості. Серед цієї групи речовин виділяють *антиаліментарні та токсичні.*

Антиаліментарні речовини – це компоненти натуральних харчових продуктів, що специфічно знижують засвоєння окремих харчових речовин (наприклад, інгібітори протеїну, які містяться у квасолі, сої, горосі, яйцях можуть зменшувати засвоюваність білкових продуктів). Токсичніречовини також можуть входити до складу харчових продуктів. Вони містяться у продуктах харчування, як правило, у незначних кількостях, проте можуть бути причиною аліментарних токсикозів людей і тварин.

Практично всі харчові продукти містять *сторонні речовини* природного походження та речовини, які потрапляють у продукти з навколишнього середовища. Сторонні речовини природного походження містять антипоживні й токсичні компоненти та компоненти з фармакологічною активністю. Екзогенні сторонні речовини: ксенобіотики та контамінанти додаються у продукти для збереження або поліпшення їх якості та харчових властивостей або можуть утворюватися в результаті технологічної обробки продуктів, а також потрапити у сировину та продукти внаслідок антропогенного забруднення навколишнього природного середовища.

Сторонні речовини в харчових продуктах, за певних умов, можуть стати причиною харчової інтоксикації, що являє собою небезпеку для здоров’я людини. У зв’язку з цим харчові добавки (хімічні засоби консервування, барвники, смакові інгредієнти, ароматизатори, антиоксиданти та ін.) вносять у продукти в мінімальних кількостях, необхідних для досягнення технологічного ефекту, не перевищуючи санітарно-гігієнічних нормативів.

У сучасних умовах ми часто чуємо словосполучення «якість життя». Воно означає добробут суспільства й окремої людини. З одного боку, це поняття визначає добробут економічний, з іншого – соціальний. Елементами *економічного добробуту* єробота, заробітна плата, вартість їжі, житла, одягу, транспорту, медичного обслуговування й інших основ існування.

Оцінка *соціального добробуту* залежить від того, наскільки цивілізоване і стійке суспільство – чи немає широко розповсюдженої злочинності, відчуження та забобонів.

Крім економічних і соціальних компонентів, до якості життя входить ще один аспект, важко вимірюваний, але не менш реальний і важливий: йдеться про якість довкілля. *Якість довкілля* не піддається чіткому визначенню.

Оцінюючи його, кожна людина, очевидно, ставитиме своє коло питань, які відображають особистий підхід до цієї проблеми. Взаємодія людини з довкіллям настільки складна, що лише екологічний підхід дає змогу зрозуміти весь спектр чинників.

Негативний прояв наявності побічних речовин у продуктах виявляється головним чином їхнім впливом на здоров'я людини-споживача, а також зниженням якості або харчової цінності продуктів.

У результаті вживання в їжу продуктів з побічними речовинами в людей можуть виникати гострі та хронічні токсикози. Багато побічних речовин мають канцерогенний, тератогенний, мутагенний ефекти, викликають алергічні реакції, знижують специфічну і загальну резистентність.

У гігієні харчування базисним нормативом є *допустима добова доза* (ДДД) регламентованої сторонньої речовини. Це максимальна доза (у міліграмах на 1 кг маси тіла), щоденне пероральне надходження якої протягом усього життя людини нешкідливе, тобто не спричиняє шкідливого впливу на життєдіяльність, здоров’я теперішнього та майбутнього поколінь. Помноживши значення ДДД на масу тіла людини, визначають *допустиме добове надходження* (ДДН) сторонньої речовини (у міліграмах на добу) у складі харчового раціону. Знаючи ДДД, ДДН і середній набір харчових продуктів у добовому раціоні, розраховують *гранично допустиму концентрацію* (ГДК)

ксенобіотика. Згідно з нормативними документами, ГДК це така кількість ксенобіотиків у продукті, яка є нешкідливою для людини (популяції) при тривалому вживанні даного продукту, яка не повинна погіршувати органолептичних властивостей продукту та його харчову цінність. Величину ГДК виражають у мг/кг або в мг/дм^3 продукту.

2.2. Техногенні забруднювачі продовольчої сировини і харчових продуктів

До техногенних забруднювачів харчових продуктів належать:

• нітрати, нітрити і нітрозосполуки;

• металічні сполуки (меркурій, плюмбум, кадмій, арсен, станум, цинк, купрум та ін.);

• радіонукліди;

• пестициди та їхні метаболіти;

• поліциклічні ароматичні і хлоровмісні вуглеводи;

• діоксини та діоксиноподібні речовини.

Забруднювачі різних груп різняться між собою за критеріями ризику: тяжкістю токсичної дії, поширеністю і часом прояву ураження.

Нітрати, нітрити, нітрозаміни. Забруднення продуктів тваринного походження нітратами і нітритами є наслідком інтенсифікації рослинництва. Використання високих доз азотних добрив призводить до різкого збільшення нітратів у рослинних продуктах, підвищення їхнього вмісту в ґрунтових водах, відкритих водоймах, до забруднення атмосфери нітрогену оксидами.

Основними джерелами нітратів у сировині та харчових продуктах, крім нітрогеновмісних сполук, є нітратні харчові добавки, які вносять до м'ясних виробів для поліпшення їх органолептичних показників і пригнічення розмноження деяких патогенних мікроорганізмів.

Треба також зазначити, що під час транспортування, зберігання та перероблення сировини і харчових продуктів може відбуватися мікробіологічне відновлення нітратів під дією нітрит-редуктаз (ферментів). Тому особливо небезпечним є зберігання готових овочевих страв, що містять нітрати, за

підвищеної температури і впродовж тривалого часу. Це також стосується м'ясних продуктів, до яких додають натрію чи калію нітрит.

Великі кількості нітратів небезпечні для здоров'я людини. Людина порівняно легко переносить дозу 150-200 мг нітратів за добу, 500 мг вважається гранично допустимою дозою, а 600 мг за добу – доза, токсична для дорослої людини. Для грудних дітей токсичною є доза 10 мг за добу. Дослідження виявили, що у свинині, баранині, м'ясі птиці за достатньо високого рівня нітрогенних речовин у кормі та воді вміст нітратів і нітритів не перевищує максимально допустимого рівня. Вищий рівень цих речовин визначили у м'ясі великої рогатої худоби (печінці, нирках – до 30 мг/кг, м'язах – 20 мг/кг). Вміст нітратів у молоці корів іноді досягає 20-30 мг/кг.

Наведені дані свідчать про те, що продукти тваринного походження за вмістом у них нітратів і нітритів практично не можуть спричинити захворювань навіть у дітей. Проте треба пам'ятати, що нітрати і нітрити є вихідними компонентами висококанцерогенних речовин (нітрозодиетиламін, нітрозопірролідин та ін.), які утворюються в процесі кулінарного оброблення продуктів. У цьому аспекті їх наявність у м'ясі та молоці небезпечна. Якщо в сирому м'ясі нітрозамінники містяться в незначній кількості, то їх удвічі більше у вареному м'ясі, а в солених, солено-копчених м'ясних продуктах – в 20-30 разів.

Для запобігання утворенню нітрозосполук у процесі технологічного оброблення продуктів необхідно знижувати вміст нітратів і нітритів. Це є основним напрямом запобігання накопиченню канцерогенів у продуктах. Досягти цього можна додаванням до продуктів аскорбінової, ізоаскорбінової кислот та їхніх солей, токоферолу в чистому вигляді або з полісорбатом-20, зменшенням концентрації нітрогену оксидів у димі для коптіння і заміною його коптильними препаратами, термічним обробленням у вакуумі з видаленням летких нітрозамінників, контролем за вмістом нітритів і нітратів у кормах і воді.

Важкі металами. З харчовими продуктами до організму людини надходить майже 70 важких металів, в основному мікроелементів. Усі вони

можуть проявляти токсичність, якщо споживаються в надлишкових кількостях. Налічується 20 токсичних важких металів, але вони неоднаковою мірою токсичні, їх поділяють на три класи небезпечності:

1) високої токсичності (найнебезпечніші) – Кадмій, Меркурій, Нікол, Плюмбум, Кобальт, Арсен;

2) помірної токсичності – Купрум, Цинк, Манган;

3) інші токсичні важкі метали.

Людський організм містить багато металів у концентраціях близько 0,01%. Окремі елементи є складовою частиною ферментів, гормонів і їх відносять до життєво необхідних. Для більшості таких елементів визначена оптимальна фізіологічна потреба. Наприклад, для дорослої людини добова потреба біоелементів складає (у мг): Купруму – 2,0÷2,5; Мангану – 5÷6; Кобальту – 0,1÷0,2; Цинку – 10÷12; Молібдену – 0,2÷0,3; Ніколу – 0,6÷0,8; Феруму – 15÷20.

Сполуки металів потрапляють у продовольчу сировину та харчові продукти різними шляхами:

- з рослинами, вирощеними на забруднених ґрунтах і водах;
- з м’ясом тварин і риб, вирощених на забруднених територіях і водоймах;
- з атмосферними викидами промислових підприємств, електростанцій, транспорту;
- при контакті з металевим посудом, технологічним устаткуванням і упакуванням.

Потенційне підвищення ступеня забруднення об’єктів довкілля сполуками металів, активна циркуляція металів у геосферах неминуче призводить до їх надходження в людський організм харчовими ланцюгами, що створює серйозну загрозу для здоров’я сучасної людини та майбутніх поколінь. Тому споживання харчових продуктів, у яких вміст металів у 2÷3 рази перевищує фонові – небезпечне, а коли вміст перевищує значення ГДК, споживання – неприпустиме.

Відповідно до вимог, запропонованих Об’єднаною Комісією *FAO/WHO*з харчового кодексу, в санітарно-гігієнічному контролі харчових продуктів

пріоритетними є вісім елементів – Hg, Cd, Pb, As, Zn, Cu, Sn і Fe. В Україні, крім вищевказаних, контролюються ще сім металів: Sb, Ni, Se, Cr, Al, F та J.

Серед важких металів, густина яких перевищує значення 7,87 г/см^3, особливою токсичністю відзначаються Меркурій, Кадмій і Плюмбум. Сполуки цих елементів проявляють високу токсикологічну активність навіть за досить низьких концентрацій. Пояснюється це їх здатністю активно акумулюватися у тканинах людського організму.

Необхідно зазначити, що плюмбум і кадмій потенційно канцерогенні. Крім того, токсичність металів проявляється під час їхньої взаємодії один з одним. У деяких країнах (США, Німеччина, Фінляндія) на підставі сучасних досліджень дії важких металів на організм людини добові норми переглядають і навіть збільшують. Наприклад, у США добова норма споживання селену становить 10 мг (в Україні – 0,5 мг), що пояснюється його блокувальною дією щодо шкідливих і канцерогенних важких металів: кадмію, меркурію, плюмбуму.

Сполуки Меркурію (ртуті). Вони належать до найнебезпечніших забруднювачів біосфери. Великі кількості цих сполук містяться у стоках хімічних заводів (підприємств, які виробляють натрію гідроксид, ацетальдегід), паперових і целюлозних виробництв, у продуктах спалювання кам'яного вугілля. Щороку в результаті спалювання кам'яного вугілля в атмосферу планети викидається близько 3000 т меркурію. Сполуки меркурію є діючою речовиною багатьох пестицидів, які використовуються для протравлення насіння рослин, а також для виробництва деяких лікарських препаратів, що використовуються в тваринництві.

Джерелом забруднення сільськогосподарських продуктів Меркурієм є також пестициди, що містять ртутні сполуки. Відомі випадки отруєння через помилкове використання в їжу протруєного посівного зерна пшениці або отриманого з нього борошна. Так, в Іраку в 1971÷1972 р.р. у результаті вживання в їжу хліба домашньої випічки з пшениці, що містила 3,7÷14,9 мг/кг Hg, отруїлось 6 000 людей. Середній вміст метилртуті у такому борошні сягав до 91 мг/кг.

Згодовування протравленого зерна птахам і сільськогосподарській птиці призводило до забруднення Меркурієм продуктів тваринництва.

Меркурій та його неорганічні сполуки діють, в основному, на печінку, нирки і кишковий тракт. За звичайних умов, вони порівняно швидко виводяться з організму і небезпечна для людини доза токсиканта не встигає нагромадитися. Період напіввиведення неорганічних сполук Меркурію з організму складає 40 діб.

Набагато небезпечніші органічні сполуки Меркурію. При потраплянні в організм, внаслідок повного всмоктування у шлунково-кишковому тракті, вони поширюються з током крові до всіх органів. Дослідження секційного матеріалу (головний мозок, печінка, нирки, жирова тканина, волосся), показали, що метилртуть виявляється практично в усіх органах і тканинах. Найбільш високі концентрації метилртуті виявлені у волоссі. Середній рівень метилртуті у волоссі перевищує його концентрацію у головному мозку в 15 разів, нирках, печінці і жировій тканині, відповідно, в 9, 11 і 6 разів. Тому при виникненні підозри на отруєння ртуттю у першу чергу досліджують волосся.

Щоб оцінити небезпеку для здоров'я людини продуктів, які містять токсичні речовини, аналітично визначені концентрації токсиканта порівнюють з ГДК. Вміст Меркурію у харчових продуктах, за рекомендацією експертного комітету *FAO/WHO*, не повинен перевищувати 0,03 мг/кг. Людина при вживанні 1,5÷2,0 кг харчових продуктів отримує 0,045÷0,06 мг Hg на добу, що майже відповідає регламентованому значенню ДДН – 0,05 мг. З огляду на малий вміст органічних сполук Меркурію у рослинних продуктах і, навпаки, підвищений – у гідробіонтах і тваринних продуктах, необхідно розробляти і використовувати диференційовані значення ГДК для різних груп продуктів.

У ґрунті сполуки меркурію містяться у вигляді менш токсичного меркурію сульфуристого або можуть вноситися в нього з протравленим насінням (гранозан, агрозан, агронал, меркургексан та ін.). У воді сполуки меркурію піддаються біотрансформації в бактеріях, зоопланктоні з наступним їх накопиченням в організмі риб і морських тварин у вигляді метилмеркурію, який дуже токсичний, діє на центральну нервову систему, нирки, печінку та

інші органи травлення. Якщо в основних харчових продуктах вміст меркурію менший, ніж 60 мкг на кг продукту, то в прісноводній рибі з незабруднених рік і водойм цей вміст становить від 100 до 200 мкг/кг маси тіла, а із забруднених – 500–700 мкг/кг. Середня кількість меркурію в морській рибі – 150 мкг на 1 кг.

Токсична небезпека меркурію виражається у взаємодії з SH-групами білків Блокуючи їх, меркурій змінює біологічні властивості тканинних білків та інактивує низку гідролітичних і окисних ферментів. Меркурій, який проникнув у клітину, може включитися в структуру ДНК, що позначається на спадковості людини.

У харчових продуктах підвищений вміст меркурію найчастіше буває в результаті згодовування тваринам рибного борошна, риби із вмістом сполук меркурію, а також після згодовування тваринам зерна, обробленого цими препаратами.

Органічні сполуки Меркурію – стійкі речовини з кумулятивними властивостям В організмі людини період їх напіврозпаду становить 70 днів. Метилмеркурій та інші алкільні сполуки характеризуються ембріотоксичною і мутагенною дією.

Для запобігання випуску продуктів тваринництва, забруднених сполуками меркурію, необхідний суворий контроль. Перевірці на вміст меркурію мають піддавати всі продукти у тих випадках, коли є підозра у неблагополучній екологічній ситуації.

Плюмбум – типовий представник токсинів, які потрапляють в організм, в основному, пероральним шляхом. Біогеохімічна присутність Плюмбуму в ґрунтах і природних водах зумовлює його акумулювання в усіх живих організмах. Значна кількість Плюмбуму потрапляє у біооб’єкти із забрудненого навколишнього природного середовища, причому дана тенденція постійно зростає. Джерелами антропогенного забруднення об’єктів довкілля сполуками Плюмбуму є насамперед теплові електростанції та котельні, що працюють на кам’яному вугіллі й рідкому паливі; двигуни внутрішнього згоряння, у яких використовується пальне з добавками тетраетил свинцю $Pb(CH_3CH_2)_4$. Пестициди, що містять Плюмбум, можуть бути джерелом забруднення овочів і

фруктів. Згідно з даними *FAO/WHO*, середня кількість Плюмбуму, яка потрапляє в організм із харчовими продуктами, складає 230÷350 мкг на день; крім того, з повітря надходить ще приблизно 90 мкг на день. Допустиме тижневе надходження Плюмбуму з продуктами, включаючи воду, становить 0,05 мг/кг маси тіла людини. Якщо щоденне надходження Плюмбуму в організм людини складатиме 2 мг, то це може призвести до розвитку інтоксикації через кілька місяців, а доза в 10,0 мг/доба – провокує хворобу сатурнізм через кілька тижнів.

Токсична дія Плюмбуму при надходженні його в організм зумовлена взаємодією іонів Pb^{2+} із сульфогідрильними групами білків і утворенням стійких сполук, здатних блокувати ферментні системи. Поряд з порушенням електролітичної рівноваги Плюмбум впливає на біосинтез гемоглобіну, нуклеїнових кислот, протеїнів і різних гормонів. Близько 90÷95 % накопиченого в організмі людини Плюмбуму «депоновано» у кістах, що створює значну небезпеку хронічної інтоксикації. Така інтоксикація розвивається дуже повільно, тому її важко розпізнати. Одна з ранніх ознак хронічного отруєння – підвищений вміст Плюмбуму в крові.

Вміст Плюмбуму у продуктах коливається в межах 0,1÷1,0 мг/кг. Допустимі концентрації Плюмбуму в деяких харчових продуктах: напоях – 0,3 мг/дм^3, воді – 0,1 мг/дм^3, твердих продуктах близько 5 мг/кг, овочах і фруктах – 8 мг/кг (у перерахунку на суху речовину).

Сполуки Арсену (миш'яку). Світове виробництво арсену становить приблизно 50 тис. т на рік. Останнім часом виробництво арсену кожні десять років зростає на 25 %. Основну небезпеку становить техногенне забруднення довкілля сполуками арсену навколо мідеплавильних заводів, підприємств, які переробляють кольорові метали, спалюють буре вугілля. Арсен використовують у виробництві барвників, скла й емалей.

Іншим джерелом забруднення продуктів арсеном є лікувальні препарати, які його містять: осарсол, новарсенол, міарсенол, автоксіл, амінорсен, акарициди, натрію й кальцію арсенат та ін. Застосування цих препаратів у

тваринництві впродовж тривалого часу або у високих дозах може призвести до їх накопичення у м'ясі, молоці, а за антикоростяних оброблень – у вовні.

Для арсену, як і для меркурію, характерна реакція метилювання. У природі спостерігається перехід арсенатів в арсеніти, а потім під час їх метилювання відбувається утворення метиларсенатної і диметиларсенітної кислот. В аеробних умовах утворюється триметиларсин, в анаеробних – диметиларсин, які включаються в харчові ланцюги і мережі.

Внаслідок великого поширення в довкіллі та використання в сільському господарстві арсен наявний у більшості харчових продуктів. Зазвичай його вміст у харчових продуктах низький – менш як 0,5 мг/кг і зрідка перевищує 1 мг/кг, за винятком деяких морських організмів, що мають здатність акумулювати цей елемент. За відсутності великих забруднень вміст арсену становить, мг/кг: в хлібних виробах – до 2,4, фруктах – 0,17, напоях – 1,3, м'ясі – 1,4, молочних продуктах – 0,23. У морських продуктах міститься більше арсену, зазвичай на рівні 1,5–15,3 мг/кг.

Арсен наявний майже в усіх прісних водах. Однак у питній воді з різних джерел рівні вмісту арсену визначаються природою порід, що залягають. У деяких геологічних формаціях залягає арсенопірит, що є джерелом арсену в прісних водах і зумовлює збільшення його концентрації до 0,5–1,3 мг/л. Регулярне використання таких вод у домашньому господарстві може призвести до надлишкового надходження арсену в організм і зумовити симптоми хронічного отруєння.

Крім гострого і хронічного токсичного впливу, сполуки арсену мають канцерогенну і гонадотропну дію. Людина з різних джерел отримує щоденно приблизно 0,1 мг/кг арсену, що близько до максимально допустимого рівня. За підвищення концентрації арсену існує небезпека інтоксикації, оскільки його сполуки мають високу кумуляцію.

Карциноми, індуковані арсеном, виникають в основному в шкірі, легенях, печінці. Відомі масові випадки раку шкіри у людей, які виникли внаслідок використання одягу, виготовленого з вовни, що містила сполуки арсену після протикліщового оброблення овець.

Запобігти випуску небезпечних продуктів можливо, якщо їх піддавати ретельним лабораторним дослідженням на арсен. Необхідно також суворо дотримуватися регламенту щодо використання препаратів арсену, термінів отримання від оброблених тварин м'яса, молока, яєць, вовни.

Сполуки Кадмію. Кадмій – один із найнебезпечніших токсикантів зовнішнього середовища. У природному середовищі кадмій зустрічається в дуже малих кількостях, саме тому його отруйна дія була виявлена лише недавно. Сполуки кадмію в невеликих кількостях (0,1 мг/кг) містяться в ґрунті, багатьох продуктах, мінеральних добривах, деяких фунгіцидах. Джерелом кадмію є арматура, пофарбованакадмієвими сполуками, пластмаса, яка використовується для машин, обладнання в сільському господарстві і харчовій промисловості. В усьому світі у довкілля його викидається приблизно 500 т.

Кадмій майже неможливо вилучити з природного середовища, тому він дедалі більше накопичується в ньому і потрапляє різними способами в харчові ланцюги людей і тварин.

Найбільше кадмію ми отримуємо з рослинною їжею. Кадмій легко переходить із ґрунту в рослини, останні поглинають до 70% його з ґрунту і лише 30 % – із повітря. Кількість кадмію, що потрапляє до організму людини, залежить не тільки від споживання нею кадмієвмісних харчових продуктів, а й великою мірою від якості її дієти. Зокрема ферум може суттєво змінити акумуляцію кадмію. Достатня кількість феруму в крові, очевидно, гальмує його акумуляцію. Крім того, великі дози вітаміну D діють як протиотрута під час отруєння кадмієм.

ВООЗ вважає максимально допустимою величину надходження кадмію для дорослих людей 500 мкг на тиждень.

Накопичується кадмій в основному в нирках і меншою мірою – печінці. Нирки тварин можуть містити до 40-200 мг/кг кадмію. Внаслідок високого вмісту кадмію в нирках старих тварин і птахів їх доцільно направляти на утилізацію.

Кадмій і його солі мають сильну подразнювальну і нейротоксичну дію на організм людини, тварин, спричиняючи порушення функції багатьох

ферментативних систем, фосфорно-кальцієвого (остеопороз), білкового і мінерального обміну. За досягнення в нирках високої концентрації (до 200 мг/кг) порушується їх сечовидільна функція. Кадмій небезпечний у будь-якій формі – прийнята усередину доза 30-40 мг може виявитися смертельною. Тому навіть споживання продуктів із пластмасової тари, матеріал якої містить кадмій, надзвичайно небезпечне. Кадмій, що потрапив в організм, виводиться дуже повільно (0,1- % на добу), легко може відбуватися хронічне отруєння. Ранні симптоми отруєння – ураження нирок і нервової системи з наступним виникненням гострих кісткових болів. Типовим також є порушення функції легень.

Антагоністами Кадмію елементи: Ca, Se, Fe, Cu і Zn, тому споживання продуктів, які їх містять, знижує токсичну дію сполук кадмію. Одним із факторів, що призводить до збільшення вмісту Кадмію в людському організмі, є паління. З кожною цигаркою курці вдихають 0,1÷0,2 мкг Кадмію.

Станум (олово). Для забезпечення корозійної стійкості консервних банок використовують м'які сталі з гальванічним покриттям зі стануму. Однак за тривалого зберігання консервів станум може переходити в продукти і в разі надмірного нагромадженні у великих кількостях негативно діє на організм. Тому бляшанки після лудіння додатково покривають харчовими лаками, а кількість стануму в консервах контролюють. Термін зберігання консервів, вироблених у бляшанці, встановлюють з урахуванням запобігання надмірного нагромадження стануму (на 1 кг продукту не більш як 200 мг для дорослих і 100 мг для дітей).

Висока концентрація стануму в їжі може призвести до гострого отруєння. Токсична його доза для людини становить 5-7 мг/кг маси тіла.

Після вживання їжі із вмістом стануму 250 мг/кг з'являється нудота, блювання й інші симптоми.

2.3. Радіонукліди

Способи надходження радіонуклідів до організму людини з їжею досить складні і різноманітні. Можна вирізнити такі з них:

рослина – людина;

рослина – тварина – молоко – людина;

рослина – тварина – м'ясо – людина;

атмосфера – опади – водойми – риба – людина;

вода – людина;

вода – гідробіонти – риба – людина.

Розрізняють *поверхневе (повітряне) і структурне* забруднення харчових продуктів радіонуклідами.

Під час поверхневого забруднення радіоактивні речовини, що переносяться повітряним середовищем, осідають на поверхні продуктів, частково проникаючи всередину рослинної тканини. Ефективніше радіоактивні речовини утримуються на рослинах із ворсистим покривом і розгалуженою наземною частиною, у складках листя і суцвіттях. Затримуються не тільки розчинні форми радіоактивних сполук, а й нерозчинні. Однак поверхневе забруднення порівняно легко видаляється навіть через кілька тижнів.

Структурне забруднення радіонуклідами зумовлено фізико-хімічними властивостями радіоактивних речовин, складом ґрунту, фізіологічними особливостями рослин. Радіонукліди, що випали на поверхні ґрунту, упродовж багатьох років залишаються в його верхньому шарі, постійно мігруючи на кілька сантиметрів за рік у глибші шари. Це надалі призводить до їх накопичення в більшості рослин з добре розвиненою і глибокою кореневою системою.

Рослини за ступенем нагромадження радіоактивних речовин розмішовуються в такій послідовності: тютюн (листя) > буряк (коренеплоди) > картопля (бульбоплоди) > пшениця (зерно) > природна трав'яна рослинність (листя і стебла). Найшвидше із ґрунту в рослини надходить стронцій-90, стронцій-89, йод-131, барій-140 і цезій-137.

Сумарна радіоактивність рослин удесятеро вища, ніж тканин тварин.

Комісія CodexAlimentarius ФАО/ВООЗ визначила, що допустимі рівні радіоактивних речовин у забруднених харчових продуктах, які реалізовуються на міжнародному ринку і призначені для загального споживання, становлять:

для цезію і йоду – 1000 Бк/кг, для стронцію – 100 Бк/кг, для плутонію й америцію – 1 Бк/кг.

Допустимі рівні активності для молока і продуктів дитячого харчування становлять: для цезію – 1000 Бк/ кг, для стронцію та йоду – 100 Бк/кг, для плутонію й америцію – 1 Бк/ кг. На думку ВООЗ, запропоновані рівні базуються на критеріях, що забезпечують охорону здоров'я і безпеку населення.

Треба зазначити, що, оскільки в людини в процесі еволюції не виробилися спеціальні захисні механізми від іонізуючих випромінювань, для запобігання несприятливим наслідкам для населення, за рекомендацією Міжнародної комісії з радіаційного захисту, очікувана ефективна еквівалентна доза не повинна перевищувати 5 мЗв (мілізіверт, 1 зіверт = 100 бер) за будь-який рік радіоактивного впливу. Ступінь небезпеки забруднення радіонуклідами залежить від частоти вживання забруднених радіоактивними речовинами продуктів, а також від швидкості виведення їх з організму. Якщо радіонукліди, які потрапили в організм, однотипні з елементами, що споживає людина з їжею (натрій, калій, хлор, кальцій, ферум, манган, йод та ін.), вони швидко виводяться з організму разом із ними.

Окремі радіоактивні речовини концентруються в різних внутрішніх органах. Елементи, що акумулюються у м'яких тканинах організму, легко виділяються. Джерела α-випромінювання (радій, уран, плутоній), (β-випромінювання (стронцій) і γ-випромінювання (цирконій) відкладаються в кістках у вигляді хімічно зв'язаних сполук з кістковою тканиною і тому важко виводяться з організму.

Внаслідок катастрофи на Чорнобильській АЕС великі площі сільськогосподарських угідь України були забруднені радіоактивними продуктами ядерного розщеплення та паливним компонентом. Радіаційний вплив на довкілля, передусім агропромислове виробництво, на сучасному етапі післяаварійного періоду зумовлений тривалою дією довготривалих, біологічно значущих радіонуклідів чорнобильського походження – ^{137}Cs, ^{90}Sr. Вони найнебезпечніші для тварин і людини, оскільки мають тривалий період напіврозпаду. Для дітей також небезпечний ^{131}J.

Радіоцезій і радіостронцій формують тепер основну частку дози радіаційного опромінення населення на забрудненій радіонуклідами території України внаслідок зовнішнього опромінення та надходження їх в організм людини з харчовими продуктами. Близько 90 % дози зумовлено надходженням зазначених радіонуклідів з молоком корів і м'ясом великої рогатої худоби. Інша продукція сільськогосподарського виробництва додає лише кілька відсотків до внеску в сумарну дозу.

1996 року Національна комісія з радіаційного захисту населення України розробила «Допустимі рівні радіонуклідів цезію-134/137 і стронцію-90 у харчових продуктах та питній воді», які ґрунтуються на реальних раціонах харчування з урахуванням того, що молоко та м'ясо є основними дозоутворювачами (таблиця 2.1). Нині на підставі численних радіобіологічних експериментів на клітинному і молекулярному рівнях однозначно прийнято концепцію безпорогової залежності, згідно з якою навіть поодинокий слід, який залишає заряджена частинка речовини, створює уражувальний ефект, який здатний спричинити порушення в спадковому апараті клітини, в тому числі мутації, що призводять до її онкогенної трансформації.

Особливо небезпечні для здоров’я людини *радіоізотопи,* що потрапляють в організм з продуктами харчування. Радіоактивні ізотопи широко застосовують у медицині для діагностики та лікування, у промисловості – для контролю технологічних процесів, в агрохімії – для оцінки ефективності різних агрохімікатів, зоотехнії та ветиринарії. Радіаційний фон зумовлений сумою зовнішніх і внутрішніх джерел іонізуючого випромінювання. До зовнішніх джерел природного фону відносять космічну радіацію та випромінювання природних радіонуклідів, розсіяних у ґрунтах, повітрі та воді. Внутрішніми джерелами природної радіації є радіоізотопи, які надходять в організм з їжею, водою і повітрям. Зовнішні та внутрішні джерела випромінювання діють постійно і надають організму певну поглинену дозу. Така доза вважається безпечною для людини, якщо впродовж року вона не перевищує 0,12 рад. для м’яких тканин і 0,13 рад. для кісток. Крім природних радіоізотопів, відомо багато штучних, які утворюються у ядерних реакторах або в результаті ядерних

вибухів. Випробування ядерної зброї й аварійні ситуації на атомних станціях – особливо небезпечні джерела опромінення населення. Під час ядерних вибухів утворюється близько 250 різних ізотопів, з яких 225 радіоактивні. Радіоактивні ізотопи мають різні періоди напіврозпаду: від секунд і хвилин після вибуху до декількох десятків років, століть і тисячоліть. Перші дні й місяці після вибуху найбільшу небезпеку для людини представляють такі радіоізотопи, як: Йод-131, Барій-140 і Стронцій-89, в подальшому – Стронцій-90 і Цезій-137.

Таблиця 2.1.

Допустимі рівні радіонуклідів у харчових продуктах і питній воді

Продукти	Питома активність, Бк/кг, л
Допустимі рівні для цезію-134/1 37	
Вода питна	4
Молоко, кисломолочні продукти, сметана, сир (м'який, твердий), масло вершкове	80
Молоко згущене та концентроване	800
Молоко сухе	850
М'ясо (яловичина, свинина, баранина), птиця, риба, яйця (меланж), м'ясні та рибні продукти	200
Жири рослинні та тваринні, маргарин	185
Допустимі рівні для стронцію-90	
Вода питна	1,85
Молоко натуральне та молокопродукти	1,85
Молоко сухе	3,7
Молоко згущене	18,5
Спеціалізовані продукти дитячого харчування (всіх видів у готовому для споживання вигляді)	0,037

Ізотопи Стронцію, у тому числі радіоактивний ^{90}Sr, за хімічними властивостями є аналогом Кальцію, який необхідний для нормального розвитку рослин і тварин. Через кореневу систему рослини вбирають із ґрунту солі Кальцію разом з радіоактивним Стронцієм. Тварини, харчуючись рослинною їжею, одержують Кальцій і Стронцій для побудови кісткових тканин. Незалежно від шляхів надходження ^{90}Sr в організм людини, практично вся його кількість (99 %) депонується в кістках, концентруючись у кістковій тканині й залишаючись там тривалий час. Ізотоп ^{90}Sr є внутрішнім джерелом опромінення, що викликає серйозні ураження тканин та кровотворного кісткового мозку. У тварин під дією ^{90}Sr спостерігається зниження імунобіологічних і захисних властивостей організму, пригнічення фагоцитарної активності клітин крові, порушуються всі види обміну речовин.

Шляхи й особливості забруднення харчових продуктів радіоактивними ізотопами можна проілюструвати на прикладі трагічної аварії на Чорнобильської АЕС у 1986 р. Інтенсивний викид радіоактивних газів і аерозолів з четвертого аварійного блоку ЧАЕС, що продовжувався 10 днів, призвів до забруднення великих територій сумішшю радіоактивних ізотопів. Основним дозоутворюючим компонентом у перші дні й тижні був ізотоп Йоду – ^{131}I, що з’явився в молоці корів уже на 2–3 добу після аварії. Забрудненими виявилися також питна вода, молокопродукти, риба, столова зелень.

Ізотопи Цезію, у тому числі радіоактивний ^{137}Cs, за хімічними властивостями аналоги Калію. Надходячи в організм тварин з рослинної їжі, ^{137}Cs розподіляється, як і Калій (до 80 %), у м’яких тканинах (м’язах, печінці). Радіоактивний ^{137}Cs здатен накопичуватися в продуктах рослинного (хліб, крупи, овочі, плоди) і тваринного (м’ясо, риба, морепродукти тощо) походження.

Результати радіоаналітичного обстеження забруднених територій виявили підвищений вміст Цезію практично в усіх харчових продуктах і, особливо в молоці.

Ступінь забруднення радіоактивним Цезієм продуктів харчування зменшується у такій послідовності: молоко, м'ясо, фрукти (кісточкові, яблука) і ягоди (смородина, аґрус, дикоростучі), картопля, овочі, риба, гриби, хліб.

Гама опромінення харчових продуктів з метою продовження терміну їх зберігання широко використовується в різних країнах уже більше ніж 25 років, причому проводиться воно відповідно до спільних програм таких світових організацій, як *Міжнародне агентство з атомної енергетики* (МАГАТЕ), ФАО та ВООЗ.

Опромінення – це фізичний процес обробки харчових продуктів, який можна порівняти з термообробкою або заморожуванням. Єдина характерна відмітність опромінення – особливий вид використовуваної енергії.

Відношення споживачів до технологічно опромінених продуктів суперечливе. Але після того, як у 1980 р. Комітет експертів ФАО/ВООЗ зробив висновок про те, що цей процес поліпшує споживчу якість продуктів харчування без будь-якої загрози для людського організму, його стали застосовувати у різних країнах. Так, у Франції, Бельгії, ФРН, Бразилії процес опромінення використовується для продовження терміну зберігання м'яса птиці та риби. У США в 1988 р. отримано дозвіл на застосування радіації для обробки свинини з метою знищення Trichiminiosis і для очищення від мікроорганізмів різних рослинних приправ.

На міжнародній конференції 1988 р., організованій МАГАТЕ/ФАО/ВООЗ і Центром міжнародної торгівлі, підкреслювалося, що опромінення харчових продуктів – це важливе доповнення до методів боротьби з патогенними організмами і не являє собою ніякої додаткової небезпеки для здоров'я людини.

2.4. Пестициди у навколишньому середовищі та харчових продуктах

Статистика показує, що значні світові втрати урожаю деяких основних культур викликані шкодочинністю бур'янів і шкідників, хворобами рослин. Так, під час вирощування рису втрати урожаю складають 47,1 % (10,6 % від шкодочинності бур'янів, 9 % – від шкідників і 27,5 % від комах), кукурудзи –

35,6 % (13 %, 9,6 % і 13 % відповідно), пшениці –24,4 % (відповідно 9,8 %, 9,5 % і 5,1 %), бавовни – 34,2 % (8,8 %, 12,4 % і 16 % відповідно).

З руйнівниками різних хвороб і шкідників люди познайомились дуже давно. Перші відомості про використання хімічних сполук знайдені у Плінія з посиланням на Демокріта, який приблизно в 470 р. до н. е. писав, що рослини необхідно обприскувати водним настоєм із маслин з метою обмеження ураження їх борошнистою росою. Поступово люди дізнались про токсичні властивості сполук Арсену, Меркурію, Купруму, навчились використовувати різні трави, робити з них відвари, настої тощо.

У 1650 р. з'явилися рекомендації занурення насіння зернових культур у солону воду для знезараження. З 1753 р. до числа фунгіцидів входить вапно, у 1755 р. – мідний купорос, у 1897 р. – формалін, у 1913 р. – органічні сполуки Меркурію.

Відомі факти використання мінеральних масел як інсектицидів. Так, сиру нафту використовували ще в 1778 р., а з 1865 р. для боротьби із щитківкою на апельсинових деревах застосовували гас.

У 1931 р. у колишньому Радянському Союзі розпочалося промислове виготовлення паризької зелені, арсенату натрію і сухого протруйника насіння. У 1948 р. уперше синтезовано препарат набам, на основі якого створені фунгіциди цінеб, манеб, манкоцеб та ін.

У 1962 р. відкрито дитіанол, а також тетрахлор- ізофталонітрил, на основі якого у 1965 р. у Сполучених Штатах Америки розроблено препарат даконіл.

Пестициди – токсичні речовини хімічного або біологічного походження, призначені для знищення, регуляції та припинення розвитку шкідливих організмів, внаслідок діяльності яких вражаються рослини, тварини, люди і завдається шкода матеріальним цінностям, а також гризунів, бур'янів, деревної, чагарникової рослинності, деяких видів риб.

До пестицидів відносять речовини, що володіють згубною дією відносно різних шкідників. Сфера застосування пестицидів надзвичайно широка. Їх використовують у рослинництві відкритого та закритого ґрунту, тваринництві,

лісовому господарстві, медичній паразитології, деяких галузях промисловості. Залежно від виробничого призначення розрізняють біля 20 груп пестицидів.

Особливість пестицидів – біологічна активність щодо нецільових організмів, а також здатність викликати небажані побічні дії. Хіміки, біологи і медики працюють над створенням пестицидних препаратів вибіркової дії, які, зберігаючи високу ефективність, залишалися б малотоксичними для людини, корисної фауни та флори.

Необхідно розрізняти токсичність і небезпеку пестицидів. Ступінь токсичності визначається величиною дози речовини, що викликає порушення процесів життєдіяльності. Критеріями токсичності речовин є величини токсичних (що викликають отруєння) і смертельних доз при різних шляхах попадання в організм – через шкіру, легені, шлунково-кишковий тракт. Однак шкідливий вплив пестицидів на організм може виявлятися не відразу і не у вигляді інтоксикації. Багато речовин, будучи малотоксичними, небезпечні у зв’язку з можливістю мутагенної, тератогенної, канцерогенної дії при впливі на організм у кількостях, близьких до тих, що реально зустрічаються. Вони можуть токсично впливати на плід, не шкодячи організму матері і, виділяючись з молоком, негативно впливати на ріст і розвиток немовляти.

Ступінь небезпеки для працюючих з пестицидами визначається величинами смертельної (ЛД50) та порогової (що викликає мінімальні порушення) доз і концентрацій при різних шляхах надходження в організм, а також зоною токсичної дії (відношенням ЛД50 до порогової дози; чим ця зона вужча, тим більша небезпека гострого отруєння), здатністю проникати через шкіру і викликати токсичну дію.

Небезпека хімічних забруднювачів об’єктів біосфери і, зокрема, продуктів харчування визначається такими чинниками: біологічною активністю; реальною можливістю надходження в організм людини; здатністю викликати порушення здоров’я в умовах використання.

У даний час не підлягає сумніву той факт, що пестициди небезпечні не тільки для цільових видів, проти яких спрямовано їх дію, але і для людини, корисної фауни та флори.

За даними ВООЗ, у світі щорічно реєструється близько 500 тис. випадків отруєнь пестицидами, з них біля 6 тис. зі смертельними наслідками. Спостерігається інтенсивне зростання отруєнь у країнах, що розвиваються. Це зумовлено збільшенням масштабів застосування високотоксичних пестицидів і слабкою обізнаністю працюючих про їх небезпеку.

Причина отруєнь пестицидами – недотримання запобіжних засобів під час роботи: приготуванні робочих розчинів, завантаженні апаратури, обробці рослин, порушення термінів виходу на оброблені площі, правил транспортування і зберігання тощо. Причиною отруєнь є також забруднення пестицидами води і харчових продуктів. Виникнення гострих отруєнь – лише один з аспектів шкідливої дії пестицидів на здоров'я людей. Токсична дія пестицидів може виявитися у вигляді різних хронічних захворювань навіть через декілька місяців або років після контакту з ними. Багаторічними дослідженнями вітчизняних і зарубіжних авторів установлено, що тривала професійна дія пестицидів супроводжується зниженням захисних властивостей організму, виникненням неспецифічних захворювань нервової, кровотворної, серцево-судинної систем, шлунково-кишкового тракту.

З 1993 р. в Україні проводиться державна санітарно-гігієнічна експертиза реєстраційних матеріалів пестицидів і агрохімікатів, які направляються від Укрдержхімкомісії до МОЗ. Основний принцип експертизи – пріоритетність збереження здоров'я людини й охорони навколишнього середовища перед економічним ефектом. До 1996 р. ця робота виконувалась експертною групою, а з 1996 – експертним Комітетом з питань гігієнічного регламентування МОЗ України.

Проведення експертизи пестицидів і агрохімікатів регламентується низкою законодавчих і нормативних документів: Законами України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про пестициди і агрохімікати», «Про захист рослин» і постанова Кабінету Міністрів України

«Про затвердження Порядку проведення державних випробувань, державної реєстрації», видання «Переліків пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні».

Показники забрудненості харчових продуктів пестицидами в різних регіонах світу неоднакові. У деяких з них вони високі. Згідно з даними наукових досліджень, практично вся сільськогосподарська продукція США містила пестициди, при цьому в 4% проб їх кількість перевищувала встановлені у країні гігієнічні нормативи.

Згідно з даними досліджень Асоціації хіміків-аналітиків, проведеними в 1983 р., у країнах Європейського економічного співтовариства у 33,8 % проб фруктів і 34,4 % проб овочів містилися залишкові кількості пестицидів. У 10,2 % проб фруктів і 20,8 % проб овочів величини залишкових кількостей пестицидів перевищують норми, прийняті в ЄС.

Застережливі результати досліджень забрудненості продуктів харчування, проведених в Індії. Пестициди там знайдені в 23,7% проб: найбільш забруднені м’ясо, молоко, риба (30%), зерно (26,3%), овочі (24%), рослинні олії (10%), фрукти. У Франції 28,5% проб продуктів були забруднені пестицидами. Хлорорганічні пестициди знайдені в 100 % проб риби, м’яса, молока, 99% проб овочів і фруктів (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

Річне надходження пестицидів в організм людини з харчовими продуктами

Компонент харчування	Річне споживання, кг/люд.	Вміст залишкових кількостей, мкг			
		ліндан	ддт	метафос	карбофос
Риба	9,56	7,3	30,5	-	-
М'ясо	68,42	6,1	14,1	-	-
Молочні продукти	107,39	17,4	15,7	-	-

Харчові продукти можуть бути забрудненими під час використання у сільському господарстві хімічних засобів іншого призначення. До них відносять регулятори росту, стабілізатори зберігання коренеплодів і зернових, дефоліанти і десиканти (для полегшення механізованого збору картоплі, бобів та інших культур.

Зі зростанням інтенсивності хімізації збільшується і ризик, пов'язаний з дією пестицидів на здоров'я людини. Про це свідчать епідеміологічні дослідження, проведені в різних країнах світу. Наголошується на вплив і на репродуктивну функцію, імунологічний статус організму, розвиток алергічних реакцій, зростання онкозахворювань у осіб, що піддаються хронічній дії пестицидів.

Установлено статистично достовірний зв'язок між поширеністю низки захворювань і величиною територіальних пестицидних навантажень. Найпомітніший цей зв'язок у дітей віком до 14 років, що проживають у сільських районах з високими пестицидним навантаженням. У них частішали випадки захворювань залізодефіцитною анемією, активним туберкульозом, вірусним гепатитом тощо.

Залежно від призначення, сфери й умов застосування пестицидів шляхи можливого надходження їх у продукти харчування можуть бути прямими і непрямими. До прямих шляхів відносять: безпосереднє обприскування й опилювання різних сільськогосподарських культур відкритого та закритого ґрунту з метою знищення шкідливих комах, збудників захворювань, бур'янів; обробка свійських тварин, у тому числі й птахів, для захисту від ектопаразитів; знезараження продовольчих запасів, що зберігаються і транспортуються, сільськогосподарської сировини харчового та кормового призначення.

До непрямих шляхів забруднення продукції відносять:

- надходження пестицидів у рослини із забрудненого ґрунту по кореневій системі;
- забруднення рослин аерогенним шляхом при спушуванні ґрунту або в результаті сублімації пестицидів з ґрунту;

- згодовування тваринам і птахам кормів, що містять пестициди, або випас їх на оброблених хімікатами площах;
- використання води, забрудненої пестицидами для повторних обробок рослин і водопою тварин;
- забруднення водоймищ, де мешкає риба та інші водні організми, які використовують як корм домашнім тваринам, у результаті промислових скидань або стоку води з угідь, оброблених пестицидами.

2.5. Поліциклічні ароматичні та хлоровмісні вуглеводні (ПАВ)

ПАВ – небезпечна за канцерогенною дією група речовин. Близько 200 ПАВ входять до складу золи, смол, диму, які утворюються під час згорання дерева, нафти, бензину, мазуту та інших нафтопродуктів, кам'яного вугілля, торфу. Крім того, вони є в парафіні, який використовують у харчовій промисловості, в поліетиленових трубах молокопроводів, у пластмасах, до яких додається зола. Джерелом екзогенного забруднення харчових продуктів можуть бути предмети побуту, такі як пакети чи папір для молока, масла та інших продуктів, просякнуті парафіном.

Один із ПАВ – *бенз(а)пірен* – виявлено вкопченостях і м'ясних продуктах, підсмажених на деревному вугіллі. Суттєве забруднення продуктів ПАВ спостерігається під час їхнього оброблення димом.

Точні значення граничних концентрацій ПАВ, які здійснюють на людину канцерогенний вплив, не визначені, оскільки локальна дія цих речовин проявляється лише за безпосереднього контакту. Нормативи їхнього вмісту в питній воді складено з урахуванням їхньої можливої канцерогенної дії. Для країн ЄС максимально допустима концентрація становить 0,2 мкг/л, а за рекомендаціями ВООЗ – 0,01 мкг/л.

Під час потрапляння в організм ПАВ під впливом ферментів утворюють епоксисполуки, які реагують з гуаніном. Це перешкоджає синтезу ДНК, порушує його чи призводить до виникнення мутацій, що сприяють розвитку ракових захворювань, у тому числі таких видів раку, як карцином і сарком.

Для максимального зниження вмісту канцерогенів у їжі основні зусилля мають бути спрямовані на створення таких технологічних прийомів зберігання і перероблення продовольчої сировини, які запобігали б утворенню канцерогенів у харчових продуктах або виключали забруднення ними.

З 1970-х років актуальною стала проблема забруднення довкілля алкілхлоридами – хлоровмісними вуглеводнями. Хлоровані алкани і алкени дуже часто використовують як розчинники або як матеріал для різних синтезів. Оскільки в цих сполук більше виражений ліофільний, ніж гідрофільний, характер, вони накопичуються в жирових відкладеннях організму. Це зумовлює їхнє нагромадження в окремих ланках харчового ланцюга.

Одним із хлоровмісних вуглеводнів, що сильно діють на печінку, є *тетрахлорметан.* Його застосовують як розчинник для жирів. Припускають, що від 5 до 10% всього вироблюваного тетрахлоретану потрапляє в довкілля.

За систематичного впливу хлорвуглеводнів на організм можуть спостерігатися ушкодження центральної нервової системи. *Діоксини і діоксиноподібні речовини*. До діоксинів – поліхлорованих дибензодіоксинів (ПХДД) – належить велика група ароматичних трициклічних сполук, які містять від 1 до 8 атомів хлору. Крім того, існує дві групи споріднених хімічних сполук – поліхлоровані дибензофурани (ПХДФ) і поліхлоровані біфеніли (ПХБ), наявні в довкіллі, харчових продуктах і кормах одночасно з діоксинами.

Нині виділено 75 ПХДД, 135 ПХДФ і понад 80 ПХБ. Це високотоксичні сполуки, які характеризуються мутагенними, канцерогенними і тератогенними властивостями.

Вказані речовини широко використовують у складі захисних покриттів, пластмасах, фарбах як ізолювальні шари для водонепроникних виробів і замазок, у діелектриках, гідравлічних рідинах, мастильних матеріалах, як наповнювачі для хлорорганічних пестицидів та ін.

В організм людини діоксини потрапляють в основному з харчовими продуктами тваринного походження. Потрапляючи у воду, ці стійкі сполуки акумулюються у тканинах водних безхребетних і риб. Відомі випадки, коли через високий рівень ПХБ у м'ясі птахів (до 60 мг/кг), яйцях, молоці продукти

ставали непридатними для їжі і їх використання заборонялося. ПХБ накопичуються в основному в жировій тканині. Вміст ПХБ у харчових продуктах допускається: в м'ясі і рибі – 5 мг/кг, молоці і молочних продуктах – 5, в яйцях – 0,5 мг/кг.

Джерелом діоксинів є також корене- та бульбоплоди, оскільки основна частина діоксинів накопичується в кореневих системах рослин.

Для розрахунку допустимої добової дози (ДДД) діоксанів у різних країнах користуються різними критеріями. В Європі за основний критерій токсичності приймають його онкогенність, у США – імунотоксичність. Відповідно до рекомендацій ВООЗ, ДДД для людини становить 10 мг/кг.

2.6. Мікотоксини

Мікотоксини (МТ) – це отруйні продукти обміну цвілевих грибів, що утворюються на поверхні харчових продуктів і кормів. *Цвілеві гриби* – повсюдно поширені мікроорганізми, відома їх роль не тільки у псуванні продуктів під час зберігання, але й участь у ферментативних процесах при виготовленні окремих видів сировини, лимонної кислоти, пеніциліну. Цвілеві гриби, вражаючи харчові продукти, погіршують не тільки їх органолептичні властивості, знижують харчову цінність, але, забруднюючи їх токсичними метаболітами, можуть викликати небезпечні захворювання.

Відомо більше 10000 штамів, які належать до 350 видів різних мікроскопічних грибів, що продукують близько 300 токсичних для людини і тварин сполук. Дослідження ізольованих МТ показало, що вони мають загальнотоксичну й імунодепресивну дію, вибірково порушують функцію окремих органів і систем організму (гепато-, нефро- і нейротоксичні ефекти тощо). Ряд МТ володіє гонадотоксичними, ембріотоксичними, мутагенними і канцерогенними властивостями. Найпоширеніші і найбільш небезпечні серед усіх МТ: афлатоксини, стерігматоцистин, охратоксин, тріхотецени, зеараленон, патулін, цитрінін, рубратоксин та інші.

Мікотоксини можуть потрапляти в організм людини через харчові ланцюги, тобто з молоком, м’ясом і рибою, при використанні забруднених мікрофлорою кормів. Мікотоксини можуть вражати і рослинні продукти. Відсутність на

поверхні продукту видимої плівки ще не свідчить про відсутність у ньому МТ і про його нешкідливість і, навпаки, пошкодження грибами не завжди означає, що продукт уражений МТ.

Перші дослідження властивостей МТ проведені в 1960 р., коли у багатьох країнах виникло захворювання і загибель птахів, риб та інших молодих тварин. Хвороба характеризувалася ураженням печінки. З'ясовано, що причиною цього смертельного захворювання є присутність токсинів у борошні з Бразильського арахісу, забрудненого цвіллю гриба Aspergillus flavus. За назвою організму, з якого вони були виділені, токсини були названі афлатоксинами (АТ). До сімейства АТ відносять близько 20 сполук. Характерною особливістю АТ є їх здатність інтенсивно флуоресціювати в УФ-променях. Цю властивість використовують під час аналізу АТ методом тонкошарової та рідинної хроматографії з використанням флуоресцентних детекторів.

Токсикологія АТ підтверджена численними дослідженнями на багатьох видах тварин. Найбільш чутливі до АТ мавпи, коні, велика рогата худоба, свині, кози, вівці, собаки, кури тощо.

У механізмі токсичної дії АТ значну роль виконують порушення проникності мембран субклітинних культур, придушення синтезу ДНК і РНК, у зв'язку з чим інгібується синтез мітохондріальних білків і ліпідів. Крім того, за певних умов, у результаті біотрансформації утворюються епоксиди АТ, яким приписують мутагенну й канцерогенну активність. При гострому афлатоксикозі, в першу чергу, вражається печінка, потім порушуються функції нервової системи, що супроводжується судомами, паралічем, атаксією. При будь-якому способі надходження АТ в організм через 30 хв спостерігається значне накопичення їх у печінці, через 2,0÷2,5 год вміст АТ у печінці досягає максимуму, а приблизно через 48 год в організмі можна визначити незначні залишки незмінених АТ. Лише 0,5% АТ виводиться з сечею, фекаліями, що вказує на інтенсивний метаболізм АТ в організмі.

Хронічний афлатоксикоз також характеризується пошкодженням печінки. При цьому утворюються гепатоми, аденокарциноми в печінці й шлунку, іноді з метастазами в легенях і нирках, а також фібросаркоми. На канцерогенну дію

АТ значно впливають різні фізіологічні дії – гормони, кастрація, гіпофізектомія та інші. Наявність у раціоні ліпотропних речовин, жирів, білків, вітаміну А та інших інгредієнтів істотно впливає на канцерогенез, викликаний АТ, послабляючи або підсилюючи утворення пухлин. Токсична і канцерогенна дія АТ може також підвищуватися за наявності в харчових продуктах токсинів інших супутніх мікроміцетів, наприклад, охратоксину.

Спори цвілевих грибів – продуцентів АТ знаходяться у ґрунті й можуть з ґрунтовим пилом забруднювати всі продовольчі культури, які вирощують на такому ґрунті. Присутність АТ у продуктах тваринного походження (молоко, м'ясо, яйця) може бути зумовлене наявністю мікотоксинів у кормах або забрудненням ними різних виробів (наприклад сирів) під час їх виробництва.

Мікотоксини потрапляють у харчові продукти з таких джерел:

- дуже зацвілої сировини;
- сировини без видимої цвілі;
- рослинних продуктів, у яких присутність цвілі не доведена;
- продуктів тваринного походження, в яких наявність МТ зумовлена характером годування;
- з продуктів ферментації.

Афлатоксини найбільш вивчені з усіх мікотоксинів. Будучи сильними гепатотоксичними та гепатоканцерогенними речовинами, АТ водночас досить поширені забруднювачі харчових продуктів рослинного та тваринного походження. Враховуючи характер харчування народів різних країн, можна вважати, що в організм людини потрапляє різна кількість АТ. За даними ВООЗ, людина за сприятливих умов (помірному кліматі, хорошій гігієнічній ситуації) одержує в день з їжею до 0,19 мкг АТ. У країнах з тропічним кліматом більше – до 15,5 мкг. Відповідно коливаються і показники щодо захворюваності раком печінки.

З урахуванням сильної канцерогенної дії АТ розрахована максимальна недіюча на людину їх доза. Допустима добова доза 0,005÷0,01 мкг/кг маси тіла. Для людини з масою тіла 60 кг безпечна добова доза АТ складає 0,3÷0,6 мкг.

Яка профілактика аліментарних мікотоксикозів? Перш за все, запобігання обсіменінню харчової сировини та продуктів мікоміцетами, що полягає в постійному контролі регламентів агротехніки, своєчасному збиранні продовольчих рослинних культур, правильному зберіганні продовольчої сировини, харчових продуктів, кормів для тварин, дотриманні технологічних режимів приготування харчових продуктів.

Не можна вживати в їжу зацвілі продукти; вони повинні бути забраковані цілком, оскільки МТ проникають у глибину продукту, незважаючи на локалізацію цвілі на поверхні. Правда, в сухих, бідних вологою продуктах з чітко локалізованою цвіллю можливе часткове вибраковування продукту. Не можна згодовувати худобі явно зацвілі продукти.

Методи знезараження продуктів, забруднених АТ, поділяють на:

- *механічні*– сортування й усунення цвілі;
- *фізичні*– термічна обробка, УФ-опромінення (опромінюванням вдається зруйнувати до 70 % АТ); екстракція водою, органічними розчинниками або їх сумішшю;
- *хімічні* – використання окисників, кислот і основ (наприклад, обробка продуктів гідроген пероксидом, натрій гіпохлоритом, калій перманганатом, пероксидом бензоїла та іншими сильними окисниками), що дозволяє руйнувати до 85 % АТ.

Проте обробка хімічними реагентами значно погіршує харчові якості продуктів. Тому частіше використовують метод детоксикації продуктів за допомогою амоніаку, коли продукти можна знешкоджувати, витримуючи їх у пластмасовому упакуванні в атмосфері газуватого амоніаку.

До низки токсикантів можна віднести й деякі харчові добавки (барвники – масляний жовтий, цитрусовий червоний тощо; консерванти – амінотриазол, тіосечовина, гідроген перексид, цукрозамінник – сахарин), речовини, проникаючі в харчові продукти з пакувальних матеріалів тощо.

Щоб уникнути потрапляння канцерогенів або їх попередників у харчові продукти, потрібно:

1. Починати з охорони навколишнього середовища, водойм і агротехнічних

заходів, щоб шкідливі речовини з повітря, води, ґрунту не проникли в харчові рослини й організм тварин, а отже, в рибу, м’ясо, молоко, яйця;

2. Зібраний урожай правильно зберігати, що допомагає уникнути забруднення мікотоксинами і нітрозамінами;
3. Використовувати оптимально безпечні в онкологічному відношенні технологічні прийоми приготування їжі;
4. Повністю або частково відмовитися від низки харчових добавок;
5. Для упаковки харчових продуктів використовувати інертні матеріали.

Проблема онкологічної безпеки продуктів належить до компетенції технологів і гігієністів. Проте кожен із нас постійно має справу з приготуванням їжі – *«лабораторією кожної клітини є кухня»*, а тому до простих повсякденних рекомендацій відносять:

- правильну термічну обробку продуктів харчування (не обвуглювати, не використовувати повторно перегріті жири);
- правильне зберігання продуктів харчування (не можна довго зберігати продукти навіть у холодильній камері);
- правильне використання посуду для зберігання та приготування харчових продуктів.

2.7. Ветеринарні препарати

Антибіотики. У харчових продуктах антибіотики можуть мати таке походження:

• природні антибіотики, властиві вихідній харчовій сировині;

• антибіотики, що утворюються в процесі виготовлення харчових продуктів;

• антибіотики, що потрапляють у продукти тваринництва під час використання їх як біостимуляторів росту тварин;

• антибіотики, застосовувані як консерванти.

Деякі харчові продукти, наприклад, яєчний білок, молоко, мед містять природні компоненти з антибіотичною дією, які можуть бути виділені, очищені і застосовані для консервування інших харчових продуктів.

Антибіотики стимулюють окремі біохімічні процеси в організмі тварин, що сприяє поліпшенню їхнього загального стану, прискоренню росту, підвищенню продуктивності, активізації захисних реакцій. Тому антибіотики використовують не лише для лікування і профілактики багатьох інфекційних і незаразних хвороб, а й для стимулювання росту, відгодівлі тварин, підвищення продуктивних характеристик.

Антибіотики, крім позитивних ефектів, мають побічну негативну дію: алергенність, мутагенність, тератогенність, токсичність, здатність знижувати специфічну стійкість і сприяти утворенню антибіотикостійких бактерій. Дуже небезпечним і небажаним ефектом антибіотиків є сенсибілізація організму людей з наступними алергічними реакціями.

Найсильнішими алергенами вважають пеніцилін, стрептоміцин і олеандроміцин.

Стрептоміцин і тетрациклін діють на вагітних як тератогени, спричиняють аномалії в розвитку ембріонів. Широко використовуваний у ветеринарії хлорамфенікол (левоміцетин) в окремих людей з підвищеною чутливістю викликає токсикози, апластичну анемію, яка переходить у лейкемію. Його вміст у продуктах надзвичайно небезпечний для чутливих до антибіотиків людей.

Проблемі залишкових кількостей антибіотиків у харчових продуктах, зокрема їх впливу (контамінації) на здоров'я людини і довкілля, приділяють велику увагу практично в усіх країнах Європи, Англії, Канаді і США.

Актуальність проблеми визначається трьома аспектами: загальнобіологічними, медичними і соціально-економічними, які тісно між собою пов'язані.

Загальнобіологічний аспект проблеми полягає у тому, що до травного каналу хворих людей і тварин потрапляють стійкі до хвороб мікроорганізми. Під впливом антибіотиків чутливі клітини гинуть, а резистентні, розмножуючись, стають переважною частиною мікрофлори, що призводить до збільшення тривалості діарейних та інших захворювань, до необхідності

підвищення доз лікувальних препаратів, що небажано і з погляду токсичності, і з погляду можливості виникнення суперінфекцій у пацієнтів.

Третій аспект проблеми – соціально-економічний – пов'язаний зі зниженням ефективності біотехнологічних процесів переробки тваринницьких продуктів.

Так, незначні кількості антибіотиків – близько 0,015–0,02 од./г можуть порушувати перебіг технологічних процесів у виробництві кисломолочних продуктів, сирів, сирокопчених ковбас та ін.

Особливо це актуально для молочної промисловості, оскільки переробка молока, що містить залишки антибіотиків, призводить до зниження товарної якості молочних продуктів.

Відповідно до «Гігієнічних вимог до якості і безпечності продовольчої сировини та харчових продуктів» (1996), у тваринних продуктах тваринництва регламентується вміст ветеринарних препаратів (таблиця 2.3).

Об'єднаний комітет експертів ФАО/ВООЗ із харчових добавок і контамінантів рекомендує максимальні рівні залишків антимікробних засобів і ветеринарних препаратів у продуктах тваринництва (таблиці 2.4, 2.5).

Гормональні препарати. Для стимулювання м'ясної і молочної продуктивності худоби, несучості птиці використовують гормональні препарати та їхні аналоги.

Найчастіше застосовують статеві гормони, їхні синтетичні аналоги й анаболічні стероїди: естрадіол, тестостерон, прогестерон, треноболонацетат, ацетат мегестролу, ралгро (зеранол), антитеріоїдні.

До препаратів, які гальмують функцію щитоподібної залози, належать бетазин, АХК (амоній хлорно-кислий), МХК (магній хлорно-кислий), білкові гормони та їхні індуктори: гормони росту, інсулін, пролактин, анаболін, субстрактні індикатори (біогенні аміни, амінокислоти).

Таблиця 2.3

Гранично допустимий вміст антибіотиків у продуктах тваринного походження, од/кг

Види продуктів	Левоміцетин мг/кг	Тетрациклінова група	Гризін	Бацітрацин	Пеніцилін	Стрептоміцин
М'ясо і птиця: свіжі, охолоджені, заморожені, у т.ч. напівфабрикати	< 0,01	< 0,01	< 0,5	< 0,02	–	
Жир-сирець забійних тварин, сало всіх видів	< 0,01	< 0,01	< 0,5	< 0,02	–	
Яйця і яєчні продукти	< 0,01	< 0,01	–	< 0,02	–	< 0,5
Молоко пастеризоване, стерилізоване і пряжене, вершки, сметана, кисломолочні напої	< 0,01	<0,01	–	–	< 0,01	< 0,5
Масло коров'яче	< 0,01	< 0,01	–	–	< 0,01	< 0,5
Концентрати сироваткових білків, казеїн, казеїнати, гідролізати молочних білків	< 0,01	< 0,5	–	–	< 0,01	< 0,5

Таблиця 2.4

Максимальні рівні залишків ветеринарних препаратів

Назва засобів	Вид тварин	Назва продукту	Максимальний рівень залишків, мг/кг (л)
Елбендазол	ВРХ	М'ясо, жир, молоко Печінка, нирки	0,1 5,0
Клозантел	Вівці	М'ясо, печінка Нирки Жир	1,5 5,0 2,0
	ВРХ	М'ясо, печінка Нирки, жир	1,0 3,6
Івермектин	ВРХ	Печінка Жир	0,1 0,04
Флубендазол	Свині Птиця	М'ясо, печінка М'ясо Печінка Яйця	0,01 0,2 0,5 0,4
Тіабендазол	ВРХ, вівці, кози і свині ВРХ, кози	М'ясо, печінка, нирки і жир Молоко	0.1 0,1

продовження таблиці 2.4

Триклобен-дазол	ВРХ	М'ясо	0,2
		Печінка, нирки	0,3
		Жир	0,1
	Вівці	М'ясо, печінка, нирки, жир	0,1
Левамізол	ВРХ, вівці, свині і птиця	М'ясо, нирки і жир	0,01
		Печінка	0,1
Фебантел, фенбендазол і оксфендазол	ВРХ, вівці і свині	М'ясо, нирки і жир	0,1
		Печінка	0,5
	ВРХ, вівці	Молоко	0,1
Моксидектин	ВРХ, вівці й олені	М'ясо	0,02
		Печінка	0,1
		Нирки	0,05
		Жир	0,5
Доремектин	ВРХ	М'ясо	0,01
		Печінка	0,1
		Нирки	0,03
		Жир	0,15

Таблиця 2.5

Максимальний рівень залишків антимікробних засобів

Назва засобів	Вид тварин	Назва продукту	Максимальний рівень залишків, мг/кг (л)
Бензилпеніцилін	Усі види	М'ясо, печінка, нирки Молоко	0,05 0,004
Спектиноміцин	ВРХ, свині, кури ВРХ	М'ясо Печінка Нирки Жир Молоко	0,3 2,0 5,0 0,5 0,2
Дигідрострепто-міцин і стрептоміцин	ВРХ, свині, вівці, кури ВРХ	М'ясо, печінка і жир Нирки Молоко	0,5 1,0 0,2
Неоміцин	ВРХ, свині, вівці, кози, кури, качки, індики Кури ВРХ	М'ясо, печінка і жир Нирки Яйця Молоко	0,5 5 0,5 0,5

продовження таблиці 2.5

Гентаміцин	ВРХ, свині ВРХ	М'ясо, жир Печінка Нирки Молоко	0,1 0,2 1,0 0,1
Хлортетра-циклін	ВРХ, свині, птиця ВРХ, свині, вівці і птиця Птиця	М'ясо Нирки Печінка Яйця	0,1 0,6 0,3 0,2
Окситетраци-клін	Всі види	Всі харчові продукти	0,1
Сертиофур	ВРХ, свині ВРХ	М'ясо Печінка Нирки Жир Молоко	0,2 2,0 4,0 0.6 0,1
Сульфадемідин	ВРХ, свині, птиця ВРХ	М'ясо, печінка, нирки і жир Молоко	0,1 0,025

До фітогормонів належать фітоестрогени, гіберелін, а також комплекси гормональних препаратів. Препарати тваринам, яких відгодовують на м'ясо, дають з кормом, ін'єктують або імплантують. За рахунок пролонгованої форми або імплантації препарати тривалий час містяться в організмі тварин.

У разі порушення термінів застосування препаратів, а також витримки тварин для виділення з організму стимулятора препарати залишаються в м'ясних продуктах. Крім того, солі хлорної кислоти (АХК, МХК) після виділення з організму тварин з калом мігрують із ґрунту в рослини, довго зберігаються в них і знову потрапляють в організм тварини чи людини з рослинними продуктами або м'ясом.

Залишкові кількості гормональних препаратів у м'ясі можуть істотно порушувати гормональні процеси, спричиняти тяжкі хвороби. Встановлено, що серед стероїдів найнебезпечніші для здоров'я людини залишкові кількості синтетичних естрогенів. Використання гормональних препаратів та інших біокаталізаторів потребує додаткових гігієнічних досліджень щодо їхньої токсикології, накопичення у клітинах і тканинах організму.

Для інших видів встановлено граничні рівні залишків (таблиця 2.6.).

Таблиця 2.6

Максимальні рівні залишків стимуляторів росту

Назва засобів	Вид тварин	Назва продукту	Максимальний рівень залишків, мг/кг (л)
Зеранол	ВРХ	М'ясо Печінка	0,002 0,01
Тренболон ацетат	ВРХ	М'ясо	0,002
Карбадокс	Свині	М'ясо Печінка	0,005 0,03
Глюкокортико-стероїди	ВРХ, коні, свині ВРХ	М'ясо, нирки Печінка Молоко	0,0005 0,0025 0,003

Об'єднаним комітетом експертів ФАО/ВООЗ із харчових добавок і контамінантів не встановлено максимально допустимих рівнів залишків трьох стимуляторів росту: естрадіолу-178, прогестерону і тестостерону.

Вважають, що використання цих препаратів як стимуляторів росту не є небезпечним для здоров'я людини за дотримання встановленої практики тваринництва.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Дайте визначення термінів: речовини-нутрієнти, аліментарні й неаліментарні речовини, сторонні речовини, ксенобіотики.

2. Дайте визначення таких базисних нормативів: допустима добова доза регламентованої сторонньої речовини, допустиме добове надходження сторонньої речовини та гранично допустима концентрація ксенобіотика.

3. Як класифікуються метали, які містяться у людському організмі?

4. Назвіть шляхи надходження металів у продовольчу сировину і харчові продукти.

5. Перелічіть метали, вміст яких у харчових продуктах підлягає санітарно-гігієнічному контролю відповідно до вимог, запропонованих Об’єднаною Комісією ФАО/ВОЗ з харчового кодексу.

6. Наведіть перелік металів, вміст яких у харчових продуктах підлягає санітарно-гігієнічному контролю в Україні.

7. У чому полягає токсична дія сполук Кадмію та які основні джерела його надходження у харчовий ланцюг?

8. У чому полягає небезпекарадіоізотопів, що потрапляють в організм людини з продуктами харчування?

9. Назвіть зовнішні та внутрішні джерела іонізуючого випромінювання.

10. Найнебезпечніші для людини радіоізотопи: Йод-131, Барій-140, Стронцій-89, Стронцій-90 і Цезій-137. Чому?

11. Які шляхи та особливості забруднення харчових продуктів радіоактивними ізотопами?

12. У чому полягають завдання, переваги та недоліки технологічного опромінення харчових продуктів?

13. Обґрунтуйте причини забруднення харчової сировини поліароматичними вуглеводнями під час технологічної обробки.

14. Чому нітрозаміни найбільш сильнодіючі хімічні канцерогени?

15. Чому концентрація нітрозамінів значно зростає під час технологічної або кулінарної обробки продукту та під час його зберігання?

16. Укажіть основні фактори негативного впливу мікотоксинів на людський організм.

17. Охарактеризуйте механізм токсичної дії афлатоксинів.

18. Які шляхи потрапляння мікотоксинів у продовольчу сировину і харчові продукти? Яка профілактика аліментарних мікотоксикозів?

19. Розкрийте суть і класифікацію методів знезараження продуктів, забруднених афлатоксинами.

20. Як можна запобігти потраплянню канцерогенів або їх попередників у харчові продукти?

ТЕМА 3. ОБМІН РЕЧОВИН – ОСНОВНА ОЗНАКА ЖИВИХ СИСТЕМ

3.1. Біохімічні основи обміну речовин в організмі

Загальна характеристика обміну речовин. Однією з найважливіших і найбільш суттєвих ознак живих систем є безперервний обмін між організмом і оточуючим середовищем. Існування живих організмів неможливе без постійного поглинання поживних речовин і виділення кінцевих продуктів обміну.

З навколишнього середовища в організм надходять органічні і мінеральні речовини, які в процесі складних біохімічних реакцій перетворюються в сполуки, що частково входять до складу його тканин і органів, а частково окиснюються до кінцевих продуктів з виділенням енергії.

Обмін речовин (метаболізм) – вся сукупність процесів поглинання і засвоєння поживних речовин та виділення продуктів обміну, яка супроводжується рядом складних перетворень і біохімічних реакцій в живих організмах і виділенням енергії.

Необхідною умовою обміну речовин є постійна взаємодія живої і неживої матерії, організму і середовища.

Обмін речовин включає велику кількість різноманітних і часто протилежних процесів (фізичних, хімічних, фізіологічних), що забезпечує постійне самооновлення живої матерії.

Специфічними функціями обміну речовин є: вбирання (акумуляція) енергії зовнішнього середовища (енергії сонячного випромінювання, хімічних сполук); перетворення екзогенних сполук та виділення енергії, необхідної для процесів життєдіяльності; синтез біополімерів, властивих для даного організму.

Обмін речовин – це єдність двох взаємозв'язаних процесів – асиміляції і дисиміляції. ***Асиміляція*** (лат. assimilatio – уподобання) – перетворення організмом поживних речовин їжі у речовини самого організму, – це частина обміну речовин, яка полягає в поглинанні, нагромадженні і засвоєнні речовин з оточуючого середовища та синтезі за їх рахунок структурних компонентів організму. При асиміляції відбувається поетапний синтез складних біополімерів. Цей процес включає численні хімічні перетворення, які забезпечують використання органічних і мінеральних речовин, що потрапляють в організм з навколишнього середовища, для утворення специфічних для даного організму сполук – білків, вуглеводів, ліпідів та ін. За рахунок асиміляції забезпечуються процеси росту, розвитку організму та нагромадження енергії, необхідної для процесів життєдіяльності. Ці реакції відбуваються з поглинанням енергії (ендотермічні). В процесі асиміляції відбувається утворення живої матерії, засвоєння клітинами речовин, що надходять в організм з довкілля, синтез більш складних хімічних сполук з простих. Кінцевим наслідком асиміляторних процесів є формування тканин і органів, ріст й розвиток організму, відновлення енергоресурсів, витрачених на процеси життєдіяльності.

Дисиміляція (лат. dissimilis – несхожий) – розпад органічних речовин (білків, жирів, вуглеводів, нуклеїнових кислот та ін.) в організмі на простіші речовини (кінцеві продукти) – воду, вуглекислий газ, аміак тощо. В процесі дисиміляції вивільнюється також енергія, яка перетворюється в тепло, в

енергію фізіологічних процесів. За рахунок накопиченої в процесі дисиміляції в АТФ енергії здійснюються різноманітні функції організму, проходять процеси відновлення.

Обмін речовин включає в себе не лише процеси взаємодії із довкіллям, а й процеси взаємодії обміну речовин в самому організмі – метаболізм. Таке більш широке значення процесів асиміляції називають ***анаболізмом,*** а дисиміляції – ***катаболізмом.***

Співвідношення між процесами асиміляції і дисиміляції є досить важливим показником функціонального стану організму. Найбільш інтенсивно процеси асиміляції проходить в період росту організму. Перевага процесів дисиміляції спостерігається при деяких патологічних процесах і під час старіння організму.

За нормальних фізіологічних умов в організмі забезпечується нероздільна єдність процесів асиміляції і дисиміляції. Енергія, яка вивільняється при дисиміляції, використовується на синтез сполук, специфічних для даного організму, та на забезпечення важливих фізіологічних функцій – сталої температури тіла, м'язових скорочень, проведення нервових імпульсів тощо.

Всі анаболічні і катаболічні реакції, характерні для асиміляції і дисиміляції, що забезпечують процеси проміжного обміну, здійснюються за участю біокаталізаторів – ферментів, які спрямовують всі біохімічні перетворення в організмі. Разом з тим, обмінні процеси організму перебувають під постійним безпосереднім контролем ендокринної і нервової систем. За висловом І.П.Павлова, нервова система є «розпорядником всієї діяльності організму».

Кожному організму властивий свій тип обміну речовин, який залежить від клімату, фізіологічного стану організму та ін. Разом з тим, процеси асиміляції і дисиміляції не завжди взаємоврівноважені. В молодому і зрілому віці спостерігається значна інтенсифікація обох процесів при відносній перевазі процесів асиміляції, в старості, навпаки, створюється деяка, поступово наростаюча з віком, перевага процесів дисиміляції. Значне посилення процесів розпаду при м'язовій роботі завжди супроводжується посиленням процесів

синтезу у відновному періоді. Ця особливість обміну речовин лежить в основі росту фізичної працездатності людини.

В обміні речовин беруть участь білки, вуглеводи, жири, неорганічні речовини, мікроелементи, ферменти, вода і вітаміни. Білки використовуються організмом переважно в якості пластичного матеріалу, вуглеводи і жири – як енергосубстрати, лише незначна частина їх включається в структурні елементи тканин.

Обмін речовин у рослинному і тваринному організмі відрізняється. Перш за все тим, що рослина будує складові частини свого тіла в процесі фотосинтезу переважно в результаті використання сонячної енергії, води, вуглекислого газу та мінеральних речовин (автотрофи). Людина ж і тварини одержують речовини рослинного і тваринного походження в травному каналі.

Процеси обміну речовин в організмі тварин і людини проходять в три етапи. Перший з них пов'язаний з травленням, в процесі якого високомолекулярні білки, жири й вуглеводи розщеплюються до більш простих сполук (амінокислот, жирних кислот, гліцерину, глюкози), здатних переходити через стінку шлунково-кишкового тракту в кров і лімфу.

Другий етап обміну речовин настає з моменту надходження кінцевих продуктів травлення у клітину (проміжний обмін). Частина продуктів обміну першого етапу використовується в якості будівельного матеріалу (пластична функція поживних речовин їжі), з іншої частини продуктів обміну, внаслідок складних біохімічних перетворень з допомогою окисних ферментів, вивільняється енергія. Фіксуючись в макроергічних зв'язках АТФ, ця енергія забезпечує перебіг фізіологічних процесів і виконання зовнішньої роботи, а також відкладається про запас у вигляді жиру та глікогену.

Третій, кінцевий етап обміну речовин, полягає у виділенні з організму продуктів обміну через нирки, легені, потові залози і шлунково-кишковий тракт. Кінцевими продуктами обміну білків є вода, вуглекислий газ, аміак, сечовина, сечова кислота, алантоїн; обмін вуглеводів і жирів завершується виділенням води і вуглекислого газу.

Асиміляція та дисиміляція нерозривно пов'язані з обміном енергії.

Основним джерелом енергії в організмі є процеси біологічного окиснення (тканинного дихання).

Процес утворення енергії в результаті біологічного окислення (БО) називається **окисне фосфорилування.** Окисне фосфорилування відкрив В.О.Енгельгардт в 1930 році. Під час цього процесу виникає макроергічний зв'язок, багатий на енергію. У процесі біологічного окиснення більше 50% енергії, яка виділяється, резервується клітинами тканин у вигляді макроергічних сполук, переважно у вигляді АТФ. Біосинтез АТФ здійснюється з АДФ і активованого неорганічного фосфату.

Біохімічне дослідження включає такі етапи:

-механічне подрібнення і фракціонування біологічного матеріалу;

-розділення молекул за їхніми фізико-хімічнимим характеристиками – молекулярною масою, розчинністю, зарядом;

- вивчення складу та будови окремих молекул, їхньої просторової структури, ферментативної активності.

Для вивчення закономірностей процесів обміну в живих організмах використовують різні методи біохімічних досліджень.

Рівні вивчення обміну речовин. Біохімічні дослідження проводять на рівні цілого організму, окремого органу, гомогенату органа, клітини та субклітинних структур, а також індивідуальних молекул (рис. 3.1).

Матеріал для вивчення отримують, проводячи лабораторні дослідження з використанням тварин, рослин, вірусів, мікроорганізмів, а також в умовах клініки при лікуванні хворих людей.

Біохімія широко використовує хімічні, фізичні, фізико-хімічні та біологічні методи дослідження, проте має і власні, які, в свою чергу, використовуються в інших галузях науки, в промисловості, медицині, фармації.

Серед методів вивчення на рівні цілісного організму особливе місце посідає *метод балансових дослідів*. Вивчають перетворення речовин в організмі від речовин їжі до кінцевих продуктів обміну, які досліджують у видихуваному повітрі, калі, сечі, потовій рідині. Зокрема, вивчають азотистий

баланс. Визначають кількість азоту, який поступає в організм з їжею, і кількість азоту, який виділяється через потові залози, нирки, травний тракт.

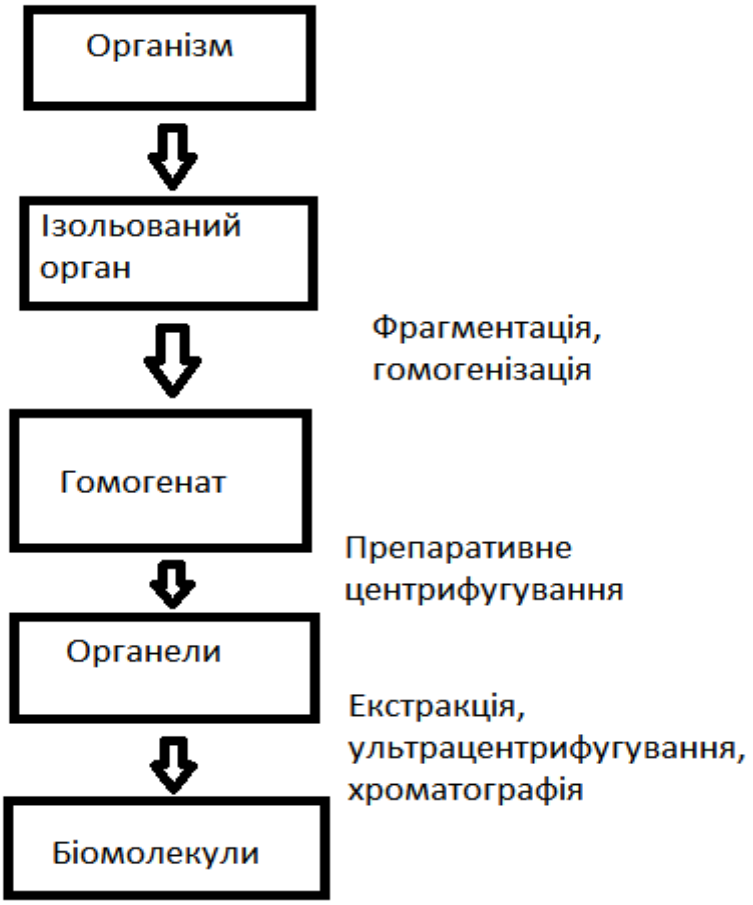


Рис. 3.1. Рівні біохімічних досліджень

Метод визначення дихального коефіцієнта. Дихальний коефіцієнт – відношення об'єму виділеного вуглекислого газу до об'єму засвоєного кисню за однаковий проміжок часу. Дихальний коефіцієнт при окисненні вуглеводів дорівнює 1,00; жирів – 0,71; білків – 0,78.

На рівні окремих органів обмін речовин досліджують за допомогою таких методів:

• *метод спостереження над тваринами із видаленими органами*. Цей метод часто використовують при вивченні функцій гормонів окремих залоз внутрішньої секреції;

• *фістульний метод І.П.Павлова* – постановка фістул на органи травлення з метою отримання травних соків і хімуса;

• *метод ангіостомії* – отримання крові для аналізу з допомогою бужування великих кровоносних судин з порушенням їх цілісності. Для порівняльної оцінки бужують не лише судини, що відходять від досліджуваного органу, а й судини, що несуть кров до даного органу.

Дослідження обміну речовин на тканинному рівні проводять з допомогою *методу тканинних зрізів*, розробленого О. Варбургом. З тканин, щойно взятих від живого організму, готують тонкі зрізи, негайно вміщують їх у розчини, які містять певні речовини. Проводять інкубацію при температурі 37ºС. Через певні проміжки часу вивчають продукти метаболізму, визначаючи хімічний склад тканини і середовища.

Методи дослідження обміну речовин на клітинному і субклітинному рівнях проводять з використанням *методу мічених атомів (ізотопів)*. З допомогою цього методу, використовуючи ізотопи фосфору, йоду, азоту, можна визначити, де, в якому місці організму утворюються відповідні речовини. Для цього в організмі вводять радіоактивні ізотопи, які включаються в реакції асиміляції. З тканин готують гістологічні препарати і виявляють радіоактивний розпад ізотопів. Метод точний і дає змогу визначити в клітині до 50-60 атомів ізотопу.

З допомогою *гістохімічних методів* на препаратах мікроскопічно визначають тканинну локалізацію і вміст окремих речовин. Різні субклітинні структури досліджують *методом екстрактів і гомогенатів*.

Локалізацію та кількість окремих хімічних речовин в субклітинних структурах визначають *методом електронної мікроскопії.*

Розділення білків на окремі амінокислоти проводять з допомогою *методу хроматографії.* Фракціонування білків на альбуміни, ά, β, γ-глобуліни проводять з допомогою *методу електрофорезу*. Наявність специфічних антитіл визначають *методом імуноелектрофорезу (імунодифузії)*.

Біохімічні методи дослідження. Біохімічні методи поділяють на три групи:

1. Методи фрагментації: механічні, фізичні, біологічні.

2. Методи розділення: центрифугування, хроматографія, електрофорез, діаліз, ізоелектрофокусування.

3. Аналітичні методи: спектроскопія, ферментативний аналіз, культура клітин, радіоізотопні, імунологічні, манометричні, потенціометричні, електричні, полярографічні.

Основними методами розділення в біохімії є:

1. Центрифугування. Метод базується на різній поведінці частинок у відцентровому полі: частинки, що мають різну густину, форму й розміри, осаджуються з різною швидкістю.

Розрізняють такі види центрифугування:

- *препаративне* – базується на відмінностях у швидкостях седиментації частинок, які відрізняються одна від одної розмірами та щільністю. Метод використовують для виділення клітинних частинок для вивчення їхньої морфології, структури і біологічної активності;

- *аналітичне* – використовується для вивчення чистих або майже чистих макромолекул або частинок, наприклад, рибосом. Метод дозволяє отримувати дані про чистоту, молекулярну масу та структуру досліджуваного матеріалу.

2. Хроматографія – високоефективний фізико-хімічний метод розділення і аналізу, в якому речовина розподіляється між двома фазами: рухомою і нерухомою. Нерухома фаза буває твердою, рідкою або сумішшю твердої та рідкої фаз. Рухома фаза може бути рідкою або газоподібною; вона звичайно тече по нерухомій фазі або пропускається через неї. Фази для хроматографії вибирають так, щоб коефіцієнти розподілу компонентів суміші в них були різними.

За допомогою даного методу можна розділяти як великі (кілька грамів), так і малі (пікограми) кількості матеріалу. Вибір виду хроматографії залежить від природи матеріалу, який виділяється. Іноді для досягнення необхідного ступеня очищення послідовно використовують кілька видів хроматографії.

Основними видами хроматографії є:

- *гель-фільтрація*, або хроматографія на молекулярних ситах. Нерухома фаза представлена рідиною, що знаходиться всередині пористих гранул, такою ж, як і рідина рухомої фази, яка протікає між ними. Завдяки силам поверхневого зчеплення молекул рідини з поверхнею матеріалу рідина, що є

всередині гранул, залишається нерухомою та не захоплюється течією рухомої фази. Метод дозволяє розділяти речовини з різними молекулярними масами;

- *розподільча хроматографія* – процес, у якому нерухома та рухома фази представлені двома рідинами, що не змішуються або змішуються частково. Речовини, що фракціонуються, переходять з однієї рідини до іншої до встановлення рівноваги, якій буде відповідати більша концентрація цих молекул у рідині, розчинна здатність якої більша. Чим вища спорідненість певного компонента суміші до нерухомої фази, тим повільніше він буде мігрувати вздовж колонки чи пластинки;

- *адсорбційна хроматографія* – нерухома фаза представляє собою твердий сорбент. Відмінності в розподіленні компонентів між сорбентом та рухомою рідкою фазою зумовлює різниця в коефіцієнтах адсорбції. Чим більшою спорідненістю володіє певний компонент суміші до сорбенту, тим повільніше він буде мігрувати вздовж колонки чи пластинки;

- *газова та рідинногазова хроматографія.* У рідинногазовій хроматографії рухома фаза – газ, а нерухома – рідина, яка нанесена на внутрішню поверхню колонки чи на твердий носій. Рідка фаза попередньо розчиняється в леткому розчиннику. Зразок вводять у рідкому стані з інертним газом, а потім нагрівають. Речовини, що випаровуються, перерозподіляються між рухомою газовою фазою та нерухомою рідкою фазою у відповідності до їх коефіцієнтів розподілення, внаслідок чого і відбувається хроматографія;

- *йонообмінна хроматографія.* Принцип йонообмінної хроматографії полягає в тому, що заряджені молекули зворотно адсорбуються на йонообміннику, так що молекули можуть зв'язуватися і виділятися залежно від йонного складу середовища. Розділення на йонообмінниках зазвичай проводиться в дві стадії: спершу з'єднання, яке потрібно відокремлювати, зв'язується з йонообмінником в умовах утворення стабільного зв'язку, потім колонку промивають буфером з іншим значенням pH або з іншою йонною силою, внаслідок чого компоненти буфера конкурують із зв'язаною речовиною за зв'язуючий центр;

- *афінна хроматографія.* Метод розділення, який базується на здатності біомолекул зв’язуватися різними хімічними групами. Даний тип хроматографії

вирізняється надзвичайно високою вибірковістю. Зокрема, одна хроматографічна процедура дозволяє очистити потрібний білок у тисячі разів.

3. Електрофорез – рух дисперсних твердих частинок, рідинних крапель або газових пухирців, йонів тощо завислих в рідинному або газоподібному середовищі в електричному полі постійного струму під дією електрокінетичних сил, що виникають завдяки утворенню подвійного електричного шару на границі розділу фаз. У біохімії за допомогою електрофорезу проводять аналіз, розділення й очищення біополімерів (головним чином білків), бактеріальних клітин, вірусів, а також амінокислот, вітамінів та ін.

До аналітичних методів досліджень належать:

1. Спектроскопічні методи – базуються на взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною. Дозволяють виявляти незначні кількості речовини у досить складних системах, причому речовина в процесі дослідження не руйнується.

2. Радіоізотопні методи. Радіоактивні ізотопи використовуються для виявлення речовин у кількостях, занадто малих для прямого хімічного визначення; аналізу сумішей, складних для традиційного хімічного аналізу; встановлення участі в реакції, коли продукти неможливо відрізнити від реагентів хімічними методами. Основна перевага методів – їх висока чутливість.

Радіоізотопи часто використовують для вивчення шляхів обміну різних речовин. Спочатку вводять мічену сполуку, потім в різні періоди часу виділяють проби, екстрагують з них продукти і проводять хроматографічний аналіз. За допомогою ізотопів також зручно вивчати швидкість обміну сполук, зокрема період оновлення білків тканин організму.

3. Полярографія – метод якісного та кількісного аналізу, а також вивчення кінетики процесів, що ґрунтуються на вивченні вольтамперних кривих (полярограм), одержуваних при електролізі досліджуваної речовини. Полярографія є надзвичайно чутливим методом, який дозволяє працювати з дуже розведеними розчинами і невеликими об’ємами. Цим методом можна виявляти певні речовини в препараті, а також встановлювати їх концентрацію.

Комплексне використання вище вказаних методів дало змогу розшифрувати ультраструктуру клітин – основного об'єкта дослідження живої матерії.

Цифрові дані, отримані різними методами, піддають статистичній обробці. Після цього приступають до аналізу і узагальнення результатів досліджень. Узагальнення оформлюють у вигляді таблиць, графіків, діаграм тощо. Завершується наукове дослідження формулюванням висновків про закономірності явищ, які вивчаються, – статику і динаміку перебігу фізіологічних і біохімічних процесів в живих організмах.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Визначення біохімії як науки. Напрями біохімії в залежності від об'єкту вивчення та прикладного значення.
2. Етапи розвитку біохімії. Роль українських вчених у розвитку біохімії.
3. Характеристика обміну речовин. Етапи обміну речовин.
4. Біологічне окиснення, його значення в обміні речовин.
5. Характеристки методів вивчення обміну речовин на різних рівнях.
6. Основні біохімічні методи розділення.

3.2. Хімічний склад живих організмів

Хімічні елементи та групи речовин. Тіло тварини і людини складається з неорганічних і органічних речовин. Неорганічні речовини включають воду, яка складає 60-65% загальної маси організму, і мінеральні речовини, вміст яких може досягати 10% маси організму. Мінеральні речовини представлені переважно у вигляді йонів, крім деяких тканин та органів, де вони містяться у вигляді солей (у кістках утворюються солі фосфору та кальцію). До складу організмів входить майже 70 хімічних елементів з періодичної системи Менделєєва.

Вміст органічних і неорганічних речовин в організмі в середньому такий: білки – 16,8%; ліпіди – 10,5%; вода – 65, 9%; вуглеводи – 1,2%; мінеральні речовини – 5,6%.

Особливості хімічного складу окремих тканини та органів представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Хімічний склад деяких органів і тканин, %

Орган, тканина	Вода	Білки	Ліпіди	Мінеральні речовини
Шкіра	58	27	14	0,6
Скелет	28	20	25	27
М'язи	70	22	6	1
Жирова тканина	23	6	71	0,2
Печінка	71	22	3	1,4
Мозок	75	11	12	1,4

Організм людини середньою масою 70 кг містить: води – 42 кг; ліпідів – 10 кг; вуглеводів – 0,7 кг; мінеральних речовин – 3,5 кг; білків – 14 кг.

До органічних речовин належать вуглеводи, білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти, вітаміни, ферменти, гормони.

Подібність елементного хімічного складу клітин всіх живих організмів свідчить про єдність живої природи. Разом з тим немає жодного хімічного елементу живих організмів, які б не зустрічалися в тілах неживої природи. Цим підтверджується спільність живої і неживої природи.

Всі живі організми різко відрізняються від навколишньої неорганічної природи за кількісним складом хімічних елементів. Наприклад, Карбону у рослинах міститься близько 18%, а у грунті – менше 1%; Силіцію, навпаки, у рослинах – 0,15%, а у грунті – 33%. У деяких живих організмах нагромаджуються певні хімічні елементи. Так, у водоростях нагромаджується Йод, в жовтецеві – Літій тощо.

Будова та функції клітини. Біологічні мембрани. Структурною та функціональною одиницею організму людини, тварин і рослин є клітина. В організмі людини нараховується $3 \cdot 10^{12}$ різних клітин. Клітини існують як смостійні організми й у складі багатоклітинних організмів. Бактерії, багато

видів водоростей, нижчих грибів і найпростіші тварини (амеба, евглена, інфузорії тощо) складаються з однієї клітини. Ця клітина виконує всі функції живого організму – живлення, рух, розмноження тощо. Тіло більшості видів тварин та рослин, а також людини складається з величезної кількості клітин, які спеціалізуються на виконанні окремих функцій. Ці клітини утворюють різні тканини. Клітини відрізняються за розмірами, формою, особливостями організації, функціями. Більшість клітин багатоклітинного організму мають розміри від 10 до 100 мкм, а найдрібніші – 2-4 мкм. Великі розміри мають деякі рослинні клітини з великими вакуолями в цитоплазмі (клітини м'якоті кавуна, лимона); дуже великі розміри (до кількох сантиметрів у діаметрі) мають яйцеклітини птахів та деяких риб. У тварин розміри клітин не залежать від розмірів тіла.

В кожній клітині можна виділити три основні частини:

а) клітинну мембрану – оточує клітину і відділяє її від зовнішнього середовища;

б) цитоплазму – містить воду, різні солі, органічні сполуки, а також органели;

в) клітинне ядро – знаходиться генетичний матеріал клітини.

Ззовні клітина вкрита плазматичною мембраною, або **зовнішньою клітинною мембраною** завтовшки 6-10 нм (рис. 3.2), яка відноситься до біологічних мембран.

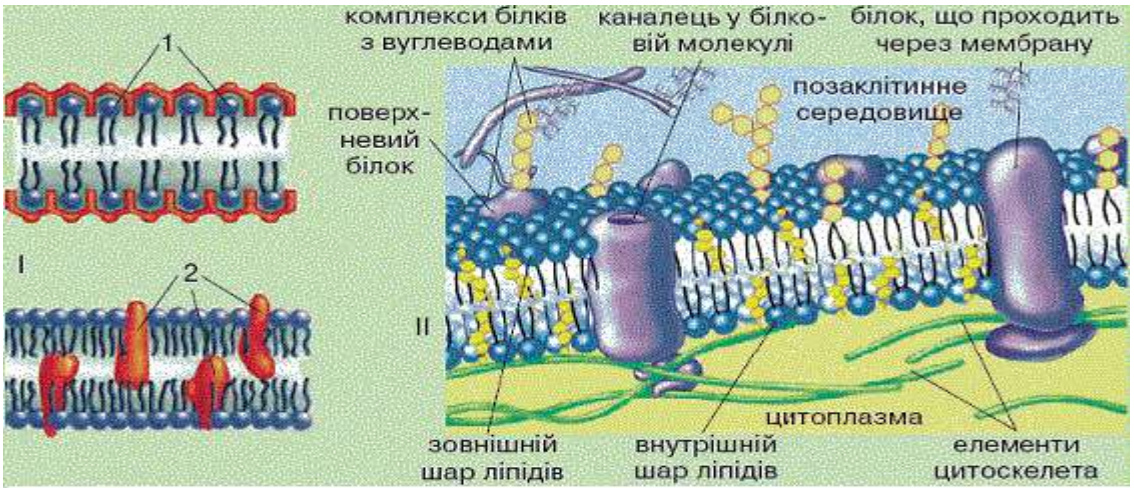


Рис 3.2. Будова плазматичної мембрани: I – схема розташування в мембрані ліпідів (1) і білків (2); II – рідинно-мозаїчна модель

Біологічні мембрани – це структури, які обмежують клітини (плазмолема) і внутрішньоклітинні органели. Мембрани виконують життєво важливі функції – бар'єрну, транспортну, регуляторну і каталітичну. Кожна клітина є суцільною системою мембран, побудованих з канальців, мішечків, цистерн. Біологічні мембрани – тонкі пластини ліпопротеїдної і глікопротеїдної природи. Головним компонентом клітинних мембран є ліпіди (60-70%) – фосфохолін, фосфатидилетаноламін, сфінгомієліни і холестерин. Білки мембран представлені ліпопротеїдними і глікопротеїдними комплексами (30-35%). Мембрани містять певну кількість вуглеводів у складі глюкопротеїдів, гліколіпідів та у вигляді глікозаміногліканів (5-10%). Залежно від функцій мембрани містять і мінорні компоненти (нуклеїнові кислоти, коферменти, антиоксиданти, неорганічні йони тощо).

Основу мембрани становить фосфоліпідний подвійний шар (бішар), гідрофобні фрагменти молекул якого занурені в товщк мембрани (2-3 нм), а полярні групи зорієнтовані назовні у навколишнє водне середовище.

Одна з головних особливостей біологічної мембрани – її вибіркова проникність (напівпроникність) – одні речовини проходять через неї важко, інші – легко і навіть у бік більшої концентрації. Так, концентрація йонів Na^+ всередині клітини значно нижча, ніж в оточуючому середовищі. Для йонів K^+ характерне протилежне співвідношення: їх концентрація всередині клітини вища, ніж ззовні. Через це йони Na^+ намагаються проникнути в клітину, а йони K^+ – вийти назовні. Вирівнюванню концентрацій цих йонів перешкоджає дія особливої системи клітинної мембрани, яка виконує роль помпи, що відкачує йони Na^+ із клітини й одночасно накачує йони K^+ всередину (так звана натрій-калієва помпа).

У багатьох клітин речовини поглинаються також шляхом фагоцитозу і піноцитозу. При *фагоцитоз*і гнучка зовнішня мембрана утворює невеликі заглибини, куди потрапляє захоплена тверда частинка. Ця заглибина поступово збільшується, і частинки, які потрапили в неї, занурюються всередину клітини. Явище фагоцитозу властиве амебам і деяким іншим найпростішим, а також

лейкоцитам (фагоцитам). Аналогічно відбувається і поглинання клітинами рідин, які містять необхідні клітині речовини. Це явище має назву *піноцитоз*.

Із зовнішньою мембраною зв'язана ендоплазматична сітка клітини. За допомогою зовнішніх мембран здійснюються різні типи міжклітинних контактів, тобто зв'язок між окремими клітинами. Для багатьох типів клітин є характерним наявність на їх поверхні великої кількості виступів, складок, мікроворсинок. Вони значно збільшують площу поверхні, прискорюють обмін речовин та роблять міцнішими зв'язки окремих клітин між собою. У рослинних клітин ззовні клітинної мембрани є товсті оболонки, які складаються з клітковини (целюлози). Ці вторинні клітинні стінки – продукт життєдіяльності органоїдів цитоплазми. Вони створюють міцну опору рослинним тканинам (деревина). Прикладом захисних структур клітин тваринного походження може бути хітин.

Цитоплазма. Внутрішній вміст клітини (протоплазма) ділиться на цитоплазму і ядро. Цитоплазма – основна за об'ємом частина клітини, напіврідка маса колоїдної структури, в якій знаходяться органоїди клітини. Агрегатний стан цитоплазми може бути різним: рідким – *золь* і в'язким – *гель*.

В цитоплазмі всіх клітин рослинного і тваринного походження є складні системи мембран, розташовані паралельно одна одній, – **ендоплазматична сітка (ЕПС).** Мембрани завтовшки 6-8 нм мають ліпідно-білкову природу і за структурою подібні до зовнішньої мембрани клітини. Мембрани обмежують дуже розгалужену взаємозв'язану систему канальців, щілин і міхурців, яка з'єднує різні ділянки клітини. Діаметр порожнини канальців 25-30 нм. Деякі з них сполучають зовнішню мембрану з ядром. Ендоплазматичні мембрани бувають двох типів: гладенькі (агранулярні) і шорсткі (гранулярні). Стінки останніх несуть на собі багато рибосом. Ендоплазматична сітка збільшує внутрішню поверхню клітини, що потрібно для процесів обміну, бере активну участь у біосинтезі білків, жирів і вуглеводів; транспортує хімічні речовини в різні ділянки клітини.

Крім ендоплазматичної сітки в цитоплазмі є структури не мембранного типу – *мікротрубочки*. Це тоненькі ниткоподібні структури 15-20 нм

завтовшки, до складу яких входять скоротливі білки. Вони утворюють нитки ахроматинового веретена під час мітозу, входять до складу клітинного центру, а також війок і джгутиків клітини. Мікротрубочки підтримують форму клітини (цитоскелет), а також забезпечують внутрішньоклітинний рух (пересування хромосом) і рух клітини і цілому за допомогою джгутиків і війок.

Рибосоми – нуклеопротеїди сферичної форми, діаметром 15-20 нм, що складаються з рибонуклеїнової кислоти і білку. Кожна рибосома має дві нерівні субодиниці (субчастинки) – велику і малу (рис.3.3).

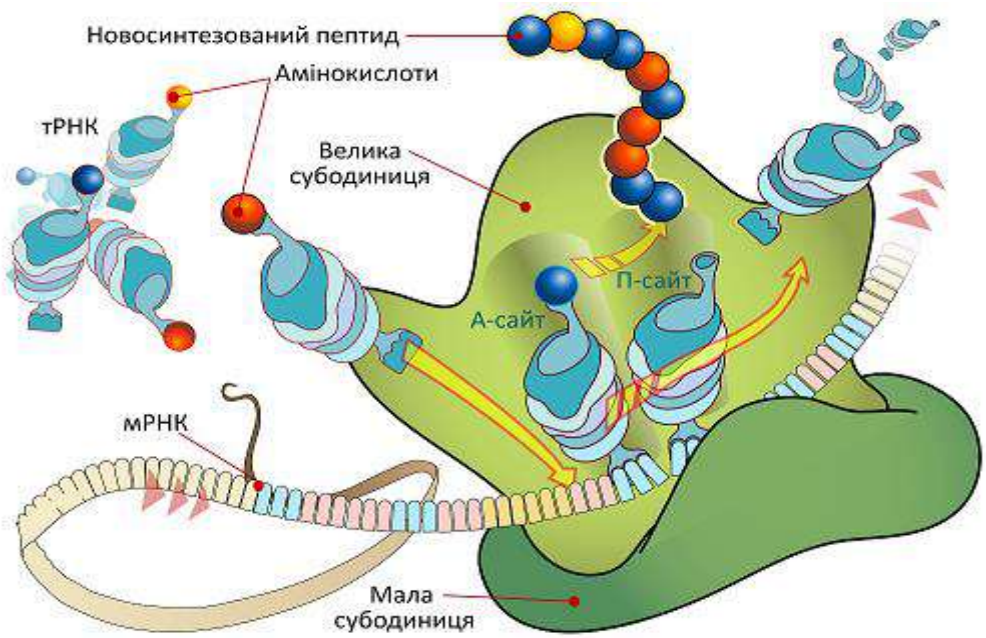


Рис. 3.3. Будова рибосоми

Мала субодиниця має активну ділянку для приєднання матричної РНК і транспортної РНК, а велика – для синтезу поліпептидного ланцюга. Звичайно рибосоми об'єднані в групи по кілька десятків штук. Їх називають *полісомами.* Основною функцією рибосом є матричний синтез білків, під час якого рибосоми зв'язують і утримують компоненти білоксинтезуючої системи, виконують каталітичні функції і трансляцію. Особливо багато рибосом у клітинах тканин, які швидко ростуть.

Мітохондрії – органоїди клітини у вигляді паличок, зерен, ниток розміром від 0,5 до 5 мкм. Вони є у всіх клітинах, за винятком бактерій і синьо-зелених водоростей. Кількість мітохондрій в клітинах різна – від однієї (у деяких

водоростей) до тисячі (печінка). Мітохондрії можуть переміщуватися в цитоплазмі, можуть утворювати скупчення.

Мітохондрії вкриті двома мембранами (зовнішньою і внутрішньою), простір між якими заповнений рідиною. Зовнішня мембрана гладенька. Від внутрішньої мембрани всередину відходять відростки – кристи (лат. crista – гребінь, виріст), які збільшують внутрішню поверхню. На поверхні крист розташовується велика кількість ферментів, які зумовлюють складні біохімічні реакції. У мітохондріях проходять окисно-відновні процеси, при яких розщеплюються вуглеводи, амінокислоти та інші органічні сполуки. При цьому виділяється енергія, яка акумулюється шляхом утворення фосфатних зв'язків в АТФ. Нагромадження АТФ робить мітохондрії своєрідними акумуляторами енергії клітини. Тому їх часто образно називають «силовими станціями клітини». Синтезована в мітохондріях АТФ вільно виходить у цитоплазму й далі прямує до ядра та органоїдів клітини, де в міру потреби розпадається і забезпечує їх енергією.

Пластиди – органоїди, специфічні для рослинних клітин. У клітинах вищих рослин знаходиться від 10 до 200 пластид роміром 3-10 мкм, більшість з них мають форму двоопуклої лінзи (бувають у формі паличок, пластинок, лусок і зерен).

Залежно від характеру пігменту розрізняють: *хлоропласти* – зеленого кольору, *хромопласти* – жовтого, помаранчевого і червоного кольорів, *лейкопласти* – безбарвні пластиди. У процесі розвитку рослин пластиди одного типу можуть перетворюватися на пластиди іншого типу. Це явище особливо помітне при достиганні плодів. У більшості водоростей пластиди представлені *хроматофорами.*

Внутрішня будова пластид досить складна. У хлоропластах є свої рибосоми, дезоксирибонуклеїнові кислоти (ДНК), рибонуклеїнові кислоти (РНК), включення жиру, зерна крохмалю. Ззовні хлоропласти вкриті двома мембранами, всередині заповнені напівридкою речовиною (строма), в якій містяться особливі, властиві тільки хлоропластам структури – *грани.* Грани (розміром близько 1 мкм) – пакети круглих плоских мішечків (тилакоїдів),

складених подібно до стовпчика монет перпендикулярно до широкої поверхні хлоропласта. Тилакоїди сусідніх гран сполучені між собою мембранними каналами (міжгранні ламели) в єдину взаємозв'язану систему. Хлорофіл розташований у певному порядку на поверхні і в товщі цих мембранних структур хлоропласта. Число гран у хлоропластах різне.

Хлоропласти не закріплені на певних місцях, а здатні змінювати своє положення в клітині або шляхом пасивного преміщення разом з течією цитоплазми, або шляхом активного орієнтованого переміщення (фототаксису).

Складна внутрішня просторова організація структурних елементів хлоропласта сприяє ефективному поглинанню і використанню променистої енергії, а також розмежовує в часі і просторі численні й різноманітні реакції, які в сукупності складають процес фотосинтезу. Відомо, що залежні від світла реакції цього процесу відбуваються лише в тилакоїдах, а біохімічні (темнові) реакції – в стромі хлоропласта.

Комплекс Гольджі, або **внутрішній сітчастий апарат**, зустрічається у всіх клітинах тварин і рослин. Утворений гладенькими мембранами, які розташовуються паралельно одна одній і утворюють систему трубочок з міхурцями різного розміру на кінцях. Розміри дрібних міхурців – 20-30нм, великих – до 2000 нм.

Основна функція комплексу Гольджі – виведення синтезованих клітиною речовин. Ці речовини транспортуються по каналах ЕПС і нагромаджуються у міхурцях комплексу Гольджі. Звідси вони або виводяться з клітини у зовнішнє середовище або використовуються в процесі життєдіяльності клітин. У комплексі також відбувається концентрація речовин речовин, які надходять у клітину ззовні і мають бути виведені з неї. Крім того, комплекс Гольджі бере участь синтезі тих хімічних сполук, з яких будується клітинна мембрана.

Лізосоми – дрібні органоїди діаметрм близько 1 мкм. Вони вкриті щільною мембраною і містять до 40 різних ферментів, здатних розщеплювати білки, жири і вуглеводи. Особливо багато лізосом у клітинах, здатних до фагоцитозу. Функція лізосом полягає у перетравленні речовин, які потрапили в клітину при фаго- або піноцитозі, а також у руйнуванні окремих органоїдів або

клітини при її відмиранні. Це відбувається внаслідок руйнування оболонки лізосом і вивільнення з неї ферментів.

Клітинний центр (центросома) – органоїд, який міститься переважно біля ядра. Складається з 1-2, а іноді більше центріолей, оточених щільним шаром цитоплазми – центросферою. Центріоль має форму циліндра 0,2-0,3 мкм завдовжки і діаметром 0,1-0,15 мкм. Стінка циліндра складається з 9 пар мікротрубочок, утворених фібрилами.

Центросома визначає орієнтацію веретена поділу клітини між центріолями, які розходяться до полюсів клітини, та бере участь у розходженні хромосом до полюсів. З нею пов'язана здатність деяких клітин до активного руху.

Органоїди руху. Клітини можуть пересуватися за допомогою спеціальних органоїдів, до яких відносяться *війки і джгутики.* Війки клітин завжди численні, а довжина становить 10-15 мкм. Джгутиків частіше всього 1-8, 20-50 мкм завдовжки. Будова війок і джгутиків подібна. По всій довжині їх проходять мікротрубочки. Рух джгутиків і війок забезпечує не тільки пересування клітин у просторі, а й переміщення різних речовин на поверхні клітин та надходження харчових грудочок у клітину.

Багато одноклітинних організмів і деякі клітини багатоклітинних не мають спеціалізованих органоїдів руху і пересуваються за допомогою *псевдоніжок (псевдоподій).* Пересування за допомогою псевдоніжок отримало назву амебоїдного руху. В його основі лежить рух молекул скоротливих білків.

Включення частіше всього зустрічаються в рослинних клітинах і від органоїдів відрізняються тим, що вони тимчасові – то з'являються, то зникають у процесі життєдіяльності клітини і звичайно не оточені мембраною. Кількість їх залежить від інтенсивності обміну речовин і стану організму. Мають форму зерен або крапель різної величини і форми. З хімічним складом розрізняють: *вуглеводні, білкові* (зерна) та *жирові* (краплі) включення. У рослинних клітинах вуглеводи частіше всього відкладаються у вигляді зерен крохмалю, а в тваринних – глікогену. Жирові краплини є в клітинах сполучної тканини тварин і в насінні рослин. За певних умов всі види включень можуть

використовуватись клітиною в процесі її життєдіяльності, а потім нагромаджуються знову.

У цитоплазмі багатьох рослинних клітин і деяких тваринних клітинах присутні особливі органоїди – *вакуолі.* У рослин вакуолі утворюються в процесі росту клітин. Дрібні і численні вакуолі, поступово збільшуючись, зливаються одна з одною, утворюючи одну велику вакуолю, що займає майже всю клітину. Речовини клітинного соку, який заповнює вакуолю, сприяють живленню рослин і створюють напружений стан (тургор) у клітинах і тканинах. Особливо великі вакуолі утворюються в старих клітинах.

Ядро. Всі клітини тварин (за винятком еритроцитів) і рослин мають ядро. В більшості клітин є одне ядро, рідше зустрічаються дво- і багатоядерні клітини. Форма ядра здебільшого залежить від форми та розмірів клітини. Звичайно в кулястих клітинах ядро має округлу форму, у видовжених м'язових клітинах ядро також видовжене. У деяких клітинах ядра можуть бути неправильної форми. Форма ядра може змінюватись з віком клітини й залежить від її функціонального стану. Розміри ядра найчастіше коливаються від 2 до 20 мкм.

Ядро клітини в період між поділами вкрите двома цитоплазматичними мембранами. Зовнішня мембрана ядра часто переходить у мембрани ЕПС і простір між двома ядерними мембранами сполучається з її каналом. В ядерних мембранах є пори діаметром 80-100 нм. Через них здійснюється обмін між ядром і цитоплазмою.

Вміст ядра називається *ядерним соком (каріоплазмою).* У ньому знаходиться 1-2 ядерця і *хроматин.* У прокаріотів хроматин складається лише із молекул ДНК, а у еукаріотів – із ДНК, білків гістонів, невеликої кількості кислих білків та інформаційної РНК (іРНК). В період між поділами хроматин знаходиться у вигляді тонких ниток і щільних зерен різного розміру (гетерохроматин). У процесі мітозу в результаті конденсації і скорочення тонких ниток та злиття окремих брилок хроматину формуються паличкоподібні хромосоми. В період інтерфази в ядрі клітини здійснюються складні процеси

біосинтезу ДНК, яка входить до складу хроматину, а також відбувається синтез іРНК (транскрипція).

Ядерця мають розміри 0,5-1 мкм, містять багато РНК і білку. Вони є місцем синтезу рибосомальної РНК (рРНК) і транспортної РНК (тРНК), ядерних білків та рибосом. Під час мітозу ядерця зникають, а потім формуються знову у телофазі.

Ядро – це не просто важлива частина клітини, а центр керування її життєвими процесами – обміном речовин, рухом, розмноженням. В ядрі зосереджена основна маса ДНК, яка є носієм спадкової інформації. Позбавлені ядра клітини (наприклад, еритроцити людини) мають порівняно коротку тривалість життя і не здатні до подальшого ділення і відновлення своєї цілісності при пошкодженнях.

Організми, які мають чітко оформлене ядро, відносяться до *еукаріот,* або ядерних організмів (всі тварини, більшість видів рослин і грибів). Інша група організмів, менш чисельна, але більш давня за походженням, є *прокаріотами* (доядерними організмами). До них належать бактерії, синьо-зелені водорості. У них немає справжнього ядра та багатьох органоїдів. Замість ядра у них є *нуклеоїд* (подібний до ядра утвір). Він складається із скупчення нуклеїнових кислот і білків, які лежать в цитоплазмі, і не відділені від неї мембраною.

Енергетичний та пластичний обміни. Для життєдіяльності клітини, її функціонування, росту, синтезу органічних сполук необхідна енергія.

Основне джерело для отримання енергії клітиною – глюкоза.

Процес розщеплення глюкози досить складний і може бути зведений до таких етапів:

1. підготовчий – проходить поза клітиною в процесі травлення, коли складні органічні сполуки розщеплюються на більш прості:

- ліпіди – на гліцерин і ВЖК;

- полісахариди – на моносахариди;

- білки – на амінокислоти.

Проходить цей процес за участю ферментів (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Ферментативне розщеплення органічних субстратів

Вихідні речовини	До чого розщеплюються	Ферменти, які приймають участь
Білки	Прості – до амінокислот; складні – до амінокислот і простетичних груп	Протеолітичні (клас гідролаз, підклас протеїназ)
Полісахариди	До моносахаридів (в основному – до глюкози)	Амілолітичні (клас гідролаз, підклас глікозидаз)
Ліпіди	Прості – до спиртів і ВЖК; складні – до спиртів, ВЖК та інших речовин	Ліполітичні (клас гідролаз, підклас естераз)

2. анаеробний (гліколіз, глікогеноліз). Проходить в гіалоплазмі клітини. Утворюється дві молекули аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ) або 47 ккал енергії, дві молекули молочної кислоти або піровиноградної кислоти (ПВК).

3. аеробний (цикл Кребса, цикл трикарбонових кислот). Основна умова – надходження в клітину достатньої кількості кисню. Проходить на мембранах мітохондрій. Утворюється 36 молекул АТФ (639 ккал), вуглекислий газ, вода.

Синтезована в мітохондріях АТФ по каналах ЕПС надходить у рибосоми та інші ділянки клітини. Там АТФ перетворюється на аденозиндифосфорну кислоту (АДФ), віддаючи акумульовану енергію на синтез білків, ліпідів, вуглеводів, ДНК, скорочення м’язів, поділу клітин та інших потреб організму. Цим АТФ здійснює функцію транспорту енергії в організмі.

Універсальним видом ***пластичного обміну*** для всіх живих організмів є процес біосинтезу білка. Цей процес інтенсивно йде в період росту і розвитку організму, а також в тих клітинах, які синтезують ферменти, гормони та інші білкові речовини. У всіх інших клітинах біосинтез йде менш інтенсивно, але триває постійно, бо в клітинах регулярно відбувається розпад білків і їх потрібно поновлювати.

Незважаючи на безперервні процеси розщеплення і синтезу в клітині, надходження і виділення різних хімічних сполук, вміст білків, нуклеїнових кислот, вуглеводів та інших речовин у цитоплазмі підтримується на відносно сталому рівні. Ця сталість зберігається лише в живих клітинах, а при відмиранні їх вона порушується дуже швидко. Стійкість клітин, як і інших живих систем, підтримується активно внаслідок складних процесів саморегуляції, або авторегуляції.

Шляхи саморегуляції:

а) за принципом зворотного зв'язку. Сама хімічна речовина (наприклад, білок), яка нагромаджується в клітині в результаті синтезу, гальмує свій подальший синтез, коли вміст її досягає певного рівня. Регуляція активності певних ферментів може відбуватися шляхом гальмування кінцевим продуктом.

б) зміна активності ферментів внаслідок приєднання або відщеплення від їхніх молекул деяких сполук – сульфгідрильних груп (SH), залишків H_3PO_4, аденозину.Такі модифіковані ферменти стають активними, або, навпаки, неактивними і, відповідно, „включаються" в хімічні процеси або „виключаються" з них.

в) синтез певних ферментів у клітині розпочинається лише в тому випадку, коли в неї потрапляють речовини, для розщеплення яких необхідні ці ферменти. Приклад: звичайно в клітинах дріжджів за допомогою багатьох ферментів відбувається розпад глюкози. Проте, якщо в ці клітини потрапляє лактоза, то через деякий час в них синтезуються нові ферменти, які забезпечують можливість використання цього вуглеводу.

Синтез ферментів зумовлений «включенням» у роботу певних генів, які до цього часу не функціонували. Отже, регуляція ряду хімічних процесів пов'язана з пригніченням або стимуляцією певних генів.

Живі організми утворюють різні малі органічні молекули, які називаються мономерами.

Мономери – це будівельні блоки або субодиниці більш великих молекул. Вони можуть сполучатися один з одним, утворюючи *полімери,* які ще називаються макромолекулами. Людині давно відомі такі органічні полімери,

як шерсть, шовк, каучук, бавовник. До штучних полімерів належать, наприклад, пластмаси.

Організм будує свої макромолекули, сполучаючи один з одним мономери. Процес цей зворотній: полімери можуть руйнуватись до мономерів, з яких складаються. Саме це проходить, наприклад, в шлунково-кишковому тракті тварин – макромолекули корму руйнуються тут до малих молекул, які потім всмоктуються в кров і використовуються організмом для утворення нових макромолекул, які використовуються уже самим організмом. Таке ж руйнування, але в більш малому масштабі, проходить у всіх живих клітинах: в них також старі молекули піддаються розщепленню, а з уламків будуються нові, тобто йде процес реутилізації.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Хімічні елементи, які утворюють організм тварини. Про що свідчить подібність елементного хімічного складу клітин всіх живих організмів?

2. Основні складові частини біологічної мембрани,їх значення.

3. Органоїди клітини, їх будова та значення.

4. Шляхи саморегуляції стійкості клітин.

5. Поняття «мономери», «полімери». Синтез та розпад складових частин організму.

3.3. Структура та біологічне значення вуглеводів

Загальна класифікація вуглеводів. ***Вуглеводи*** – це органічні сполуки, до складу яких входить Карбон, Гідроген і Оксиген. Загальна їх кількість становить 1% маси тіла. В 1833 році шведський вчений І. Берцеліус назвав їх «трійні сполуки», а в 1844 році російський вчений К. Шмідт назвав їх «вуглеводами». Він першим встановив емпіричну формулу глюкози – $C_6H_{12}O_6$. Крім трьох вище зазначених елементів (C,H,O_2) до складу вуглеводів в невеликих кількостях можуть входити Нітроген, Фосфор і Сульфур. Загальна формула вуглеводів $C_n(H_20)_n$. Багато вуглеводів, особливо простих, мають солодкий смак. Їх називають *гліцидами*. Ще одна поширена назва вуглеводів – *цукри*.

Вуглеводи дуже поширені в природі. Вони утворюються в рослинах в результаті фотосинтезу і нагромаджуються в різних органах рослин. В організмі людини і тварин вуглеводи виконують ряд життєво важливих функцій:

• джерело енергії (при окисненні 1 г вуглеводів виділяється 4,1 ккал або 17,18 кДж енергії);

• джерело води (100 г вуглеводів – 55,5 г води);

• функція депо (глікоген в печінці і м'язах);

• опорна функція (гіалуронова кислота);

• захисна функція (слизи);

• структурна функція (входять до складу мембран клітин);

• матеріал для синтезу білків і жирів, БАР (вітаміну С, гормонів гіпофізу) тощо.

За хімічними властивостями вуглеводи є багатоатомними альдегідоспиртами (містять альдегідну групу С=О і спиртову групу - ОН)

\

Н

і кетоноспиртами (містять кетонну групу С=О і спиртову групу - ОН).

Відповідно до існуючої класифікації всі вуглеводи поділяють на дві групи: *моносахариди (прості)і полісахариди (складні).* Моносахариди – це вуглеводи, які не піддаються гідролізу з утворенням більш простих сполук, тобто продукти розпаду моносахаридів не є вуглеводами. Полісахариди поділяються на олігосахариди (містять від 2 до 10 залишків моносахаридів) і власне полісахариди (містять більше 10 залишків моносахаридів).

Моносахариди. Моносахариди (або монози) поділяють на *альдози* (містять альдегідну групу) і *кетози* (містять кетогрупу). В залежності від кількості атомів Карбону в ланцюгу моносахариди ділять на біози (С2), тріози (С3), тетрози (С4), пентози (С5), гексози (С6), гептоди (С7), октози (С8), нанози (С9), деколи (С10).

За хімічною природою та фізико-хімічними властивостями розрізняють:

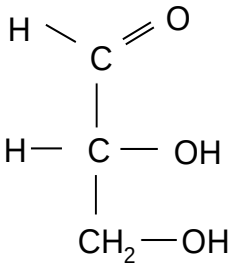
-*нейтральні цукри* – містять тільки карбонільні та спиртові групи;

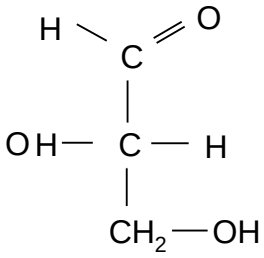
-*аміноцукри* – крім карбонільної та спиртових груп, містять ще аміногрупу ($-NH_2$);

-*кислі цукри* – крім карбонільної та спиртових груп, містять ще карбоксильну групу (-COOH);

-*дезоксицукри* – моносахариди, у яких деякі атоми Карбону не містять гідроксильних груп (важливе значення має дезоксирибоза – є у складі ДНК).

Тріози. Загальна формула – $C_3H_6O_3$. Найпростішими із моносахаридів є гліцериновий альдегід і диоксіацетон. Гліцериновий альдегід містить один асиметричний атом Карбону (атом, що з'єднаний з чотирма різними радикалами), за рахунок чого володіє поворотною, або стереоізомерією, яка призводить до повороту поляризованого світла вправо або вліво при проходженні крізь його розчин. Гліцериновий альдегід може існувати у вигляді двох стероізомерів – ***енантіомерів.*** Всі сполуки з асиметричним атомом Карбону оптично діяльні і, навпаки, всі оптично діяльні сполуки мають у своїй молекулі принаймні один асиметричний атом Карбону.





D (+) -гліцериновий альдегід *L (–) -гліцериновий альдегід*

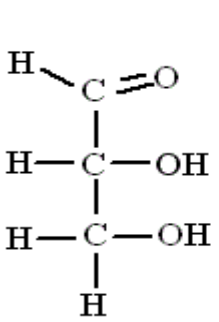
Значок «+» означає поворот світла вправо, значок «–» – поворот світла вліво. Такі різновиди сполук називають оптичними антиподами, або ***херальними молекулами*** (херос (лат) – рука).

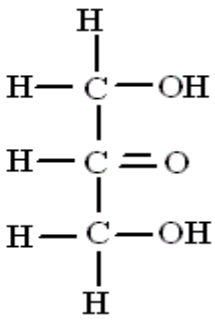
За основу стереоізомерів цукрів узято відповідність їхньої будови гліцериновому альдегіду. Моносахариди, у яких гідроксил при найбільш віддаленому від карбонільної групи асиметричному атомі Карбону розташований у проекційній формулі праворуч, належить до ***D-ряду***, ліворуч – до ***L-ряду***. Природні моносахариди належать, переважно, до D-ряду, що пов'язано з особливостями їхнього біосинтезу у рослинах.

Із збільшенням числа асиметричних атомів карбону зростає і число стереоізомерів N, яке визначається за формулою Фішера $\mathbf{N=2^n}$**,** де:

N - кількість стереоізомерів; n - кількість асиметричних атомів С.

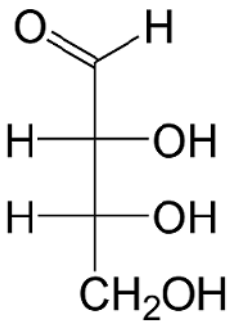
Диоксіацетон є кетозою і не містить асиметричного атома Карбону:





Гліцериновий альдегід *Диоксіацетон*

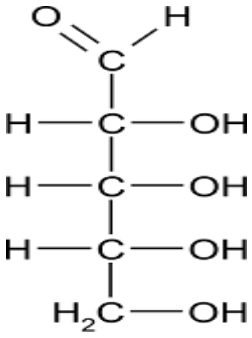
Гліцериновий альдегід і диоксіацетон містяться в тканинах у вигляді естерів з ортофорфорною кислотою як продукти проміжного обміну вуглеводів під час реакцій гліколізу і бродіння.

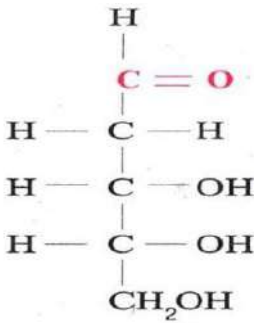


Тетрози. Загальна формула – $C_4H_8O_4$. Представники: *еритроза* – продукт пентозного шляху окиснення вуглеводів.

Еритроза є важливим проміжним компонентом вуглеводного обміну, який приймає участь в утворенні фруктозо-6-фосфату. Еритроза – прозора в'язка рідина, дуже добре розчинна у воді, але погано розчинна в органічних розчинниках. Водний розчин еритрози має слабокислу реакцію середовища. При відновленні еритроза утворює чотириатомний спирт еритрит. В рослинах і багатьох мікроорганізмах приймає участь в синтезі ароматичних амінокислот тирозину, триптофану і фенілаланіну.

Пентози. Загальна формула $C_5H_{10}O_5$ (за винятком дезоксирибози – $C_5H_{10}O_4$). Утворюються пентози в результаті проміжного обміну, зокрема пентозного шляху. До пентоз належать:





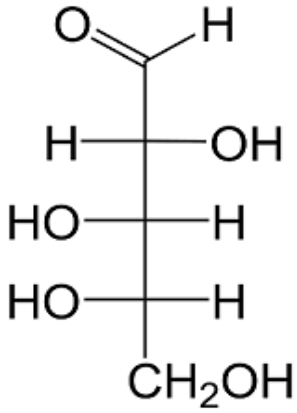
Рибоза ($C_5H_{10}O_5$)
складова частина РНК, нуклеотидів, нуклеозидів

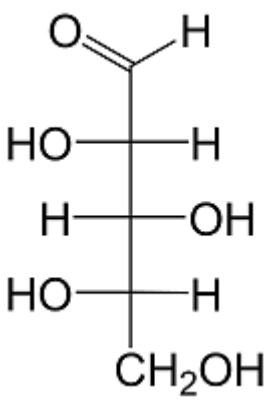
Дезоксирибоза ($C_5H_{10}O_4$)
входить до складу ДНК, утворюється в організмі при відновленні рибози

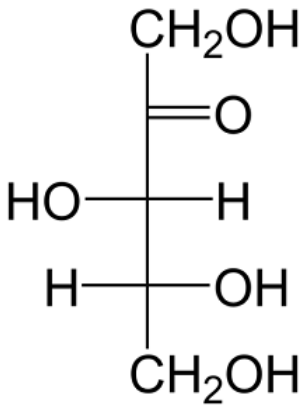
Арабіноза – входить до складу плодів, міститься у вишневому клеї. Її виділено в складі полісахаридів, що входять до складу туберкульозної палички.

Ксилоза – багато міститься у складі полісахаридів деревини, соломи, кукурудзяних качанів. Використовується як поживне середовище при вирощуванні кормових дріжджів, а також в кондитерській справі.

Ксилулоза – утворюється в пентозному циклі обміну вуглеводів. Бере участь в біосинтезі нуклеїнових кислот. Належить до кетоз.



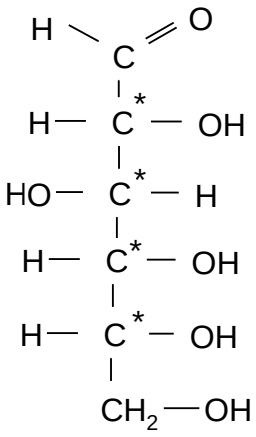




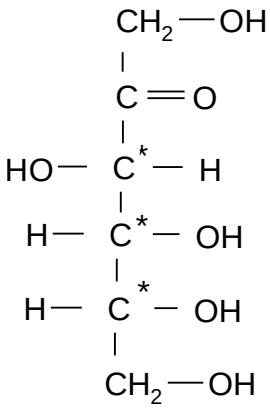
Арабіноза *Ксилоза* *Ксилулоза*

Серед моносахаридів найпоширенішими є ***гексози*** – загальна формула $C_6H_{12}O_6$. Представники: *глюкоза, фруктоза, галактоза, маноза.*

Для гексоз, з яких найбільш поширеними є глюкоза і фруктоза, число стереоізомерів виходить з того, що у глюкози є чотири асиметричних атоми Карбону і $N=2^4=16$, а у фруктози три асиметричних атоми Карбону: $N=2^3=8$.

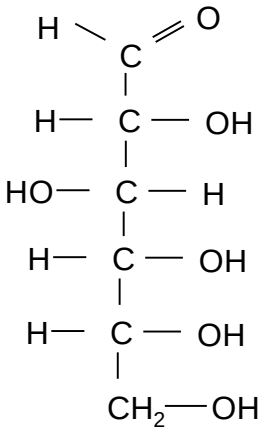


D (+)– глюкоза

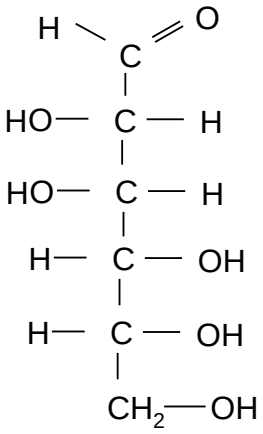


D (+)– фруктоза

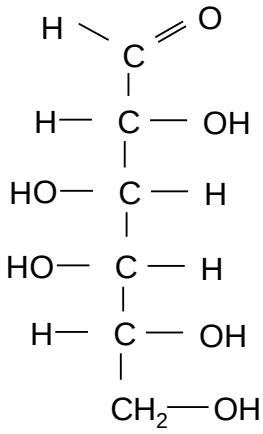
Сполуки, що відрізняються конфігурацією біля першого після карбонільної групи асиметричного атома Карбону називають ***епімерами.*** Епімерами є D–глюкоза, D–маноза і D–галактоза.



D–глюкоза



D–маноза

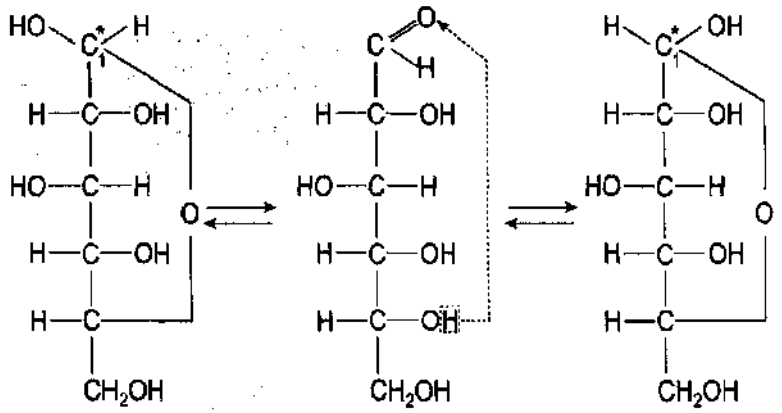


D–галактоза

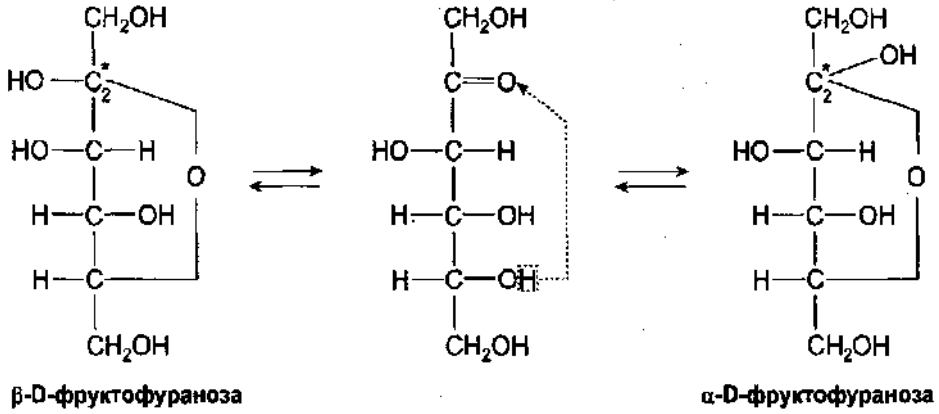
Зображені карбонільні формули називають проекційними формулами Фішера.

Циклічних форм немає у тріоз і тетроз. Проте, починаючи із пентоз, відбувається спонтанна реакція між карбонільною групою і однією з гідроксильних груп (***внутрішьомолекулярна напівацетальна взаємодія***). З термодинамічного погляду, найвигіднішою є така взаємодія, коли утворюються:

- шестичленний цикл (***піранозна форма***) – проекція Толенса:



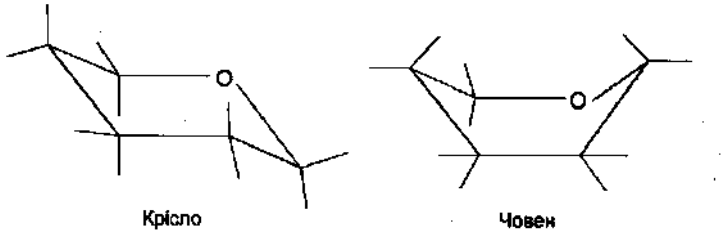
- пятичленний цикл (***фуранозна форма***) – проекція Толенса:



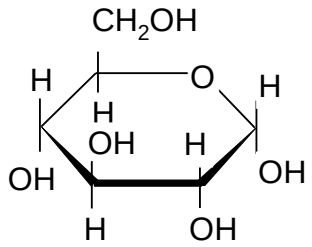
У цьому разі перший атом Карбону в альдоз і другий атом Карбону в кетоз стають асиметричними. Гідроксил, який виникає внаслідок такої взаємодії, називають ***глікозидним, або напівацетальним.***

У водних розчинах моносахариди можуть існувати одночасно у двох таутомерних формах: 1) альдегідній або кетонній; 2) циклічній (напівацетальній). Завдяки цьому моносахариди в реакціях виявляють властивості як альдегідів (кетонів), так і спиртів.

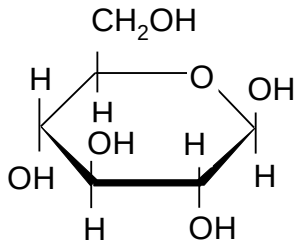
Для зображення циклічних форм цукрі використовують перспективні формули Хеуорса. Однак треба пам’ятати, що піранозне кільце не лежить в одній площині. У більшості цукрі воно має форму «крісла», а в деяких – «човна»:



Утворений напівацетальний гідроксил може знаходитися праворуч (записується внизу), що має назву *α-форми*, або ліворуч (записується вверху) і називається *β–формою.*



α-D(+) глюкопіраноза



β-D(+) глюкопіраноза

Процес розчинення моносахаридів у воді супроводжується своєрідним оптичним ефектом, який називають мутаротацією. ***Мутаротація*** – зміна величини кута обертання площини поляризації свіжого розчину моносахариду (збільшення або зменшення) до досягнення сталої величини, характерної для певного моносахариду.

Глюкоза. Її ще називають декстрозою (dexter – право). Глюкоза правообертаючий моносахарид, належить до групи альдоз. Її ще називають виноградний цукор.

Глюкоза поширена в природі. У вільному стані велика кількість глюкози (17-20%), міститься у винограді (звідси назва виноградний цукор) та в інших солодких плодах. Глюкоза – обов'язкова складова частина крові людини і тварин, лімфи, церебральної рідини. В незначній кількості вона є в сечі. Глюкоза є в багатьох полісахаридах. З неї побудовані крохмаль, глікоген, целюлоза. Як проміжний продукт розпаду вуглеводів глюкоза зустрічається у фосфорильованому вигляді – глюкозо-1-фосфату (Г-1-Ф) і глюкозо-6-фосфату (Г-6-Ф). Глюкоза добре розчиняється у воді. Розчини глюкози різної

концентрації (10, 20, 40 %) досить широко використовуються як лікувальні засоби при багатьох захворюваннях для ін’єкцій.

Фруктоза. Ще називається левульозою (levulus – вліво). Інша назва – плодовий цукор, належить до кетогексоз.

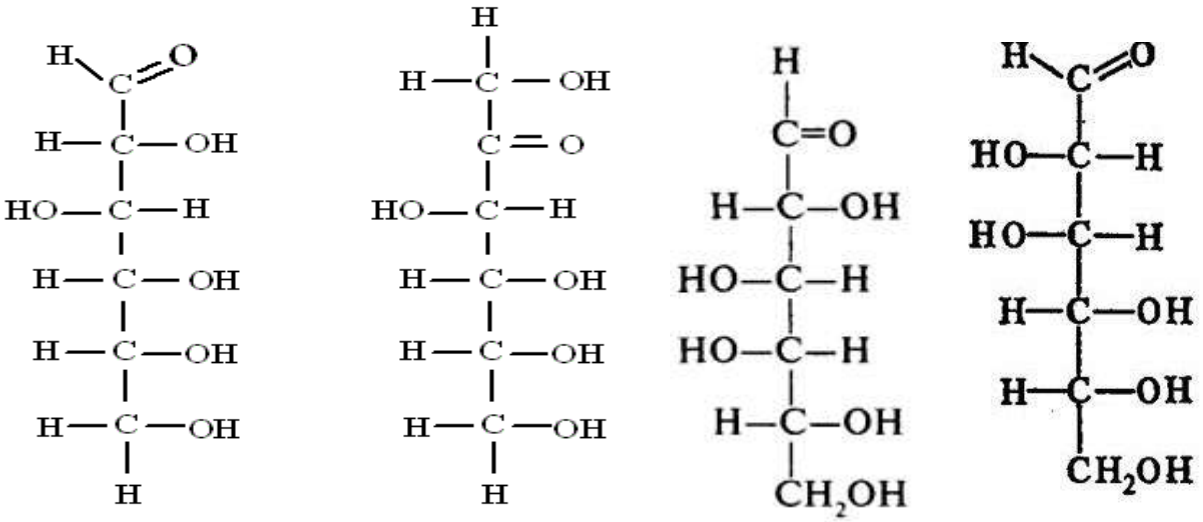
Фруктоза досить поширена в природі. Вона входить до складу дисахариду сахарози. Особливо багато її в медові (42% від всіх вуглеводів меду). Входить також до складу рослинного полісахариду – інуліну. В невеликих кількостях фруктоза міститься в крові людини і тварин. Її фосфорні ефіри – фруктозо-6-фосфат (Ф-6-Ф) і фруктозо-1,6-дифосфат (Ф-1,6-Ф) – проміжні продукти вуглеводного обміну.

При відновленні фруктози утворюється спирт сорбіт, який використовується як замінник цукру при цукровому діабеті.

У значних кількостях міститься у водоростях, плодах горобини, сливи, яблуні, абрикоси. При окисненні залежно від умов може утворитися глюкоза, фруктоза або сорбоза, яка разом із сорбітом є важливим проміжним продуктом синтезу аскорбінової кислоти. Застосовується як замінник цукру для хворих на цукровий діабет.

Галактоза. Належить до альдогексоз. В організмі людини і тварин зустрічається у складі дисахариду лактози і трисахариду - рафінози. Входить також до складу ліпідів нервової системи і головного мозку. Міститься галактоза і в складних білках – глікопротеїдах. В організмі людини і тварин галактоза за участю ферментних систем може перетворюватись в глюкозу.

Маноза. Відноситься до альдогексоз. В організмі людини і тварин маноза виявлена в складі глікопротеїдів крові, слизу кишок, рідини суглобів. Входить вона також до складу природних складових вуглеводів – мананів. Маноза солодка на смак, добре розчиняється у воді. При відновленні маноза утворює шестиатомний спирт – маніт.



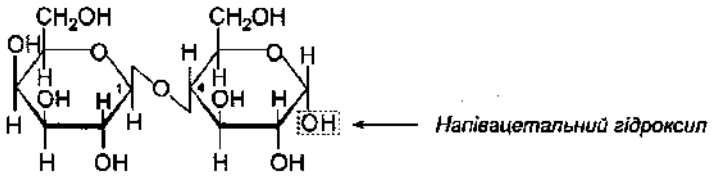
Глюкоза *Фруктоза* *Галактоза* *Маноза*

Дисахариди. Дисахариди – вуглеводи, молекула яких під час гідролізу розщеплюється на дві молекули моносахаридів:

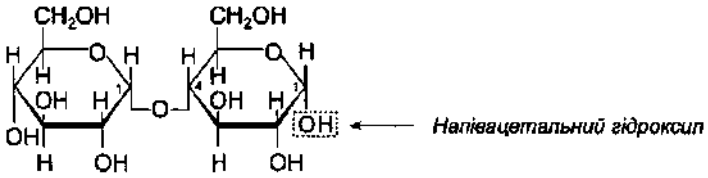
$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$.

Дисахариди складаються із двох залишків моносахаридів, з'єднаних глікозидним зв'язком. Зв'язок утворюється під час взаємодії двох напівацетальних гідроксилів (сахароза, трегалоза) або напівацетального гідроксилу одного моносахариду і спиртової групи іншого (мальтоза, лактоза, целобіоза). Відповідно розрізняють два типи дисахаридів – відновлюючі або редукуючі (мальтозний тип) і невідновлюючі або нередукуючі (трегалозний тип) у відношенні до феліногової рідини, гідроксиду купруму або оксиду срібла.

При утворенні молекули дисахариду мальтозного типу зв'язку (зв'язок 1→4) у залишку одного моносахариду зберігається вільний напівацетальний (глікозидний) гідроксил, який може таутомеризуватися у оксидну форму, вступаючи в хімічні реакції, що характерні для альдоз:

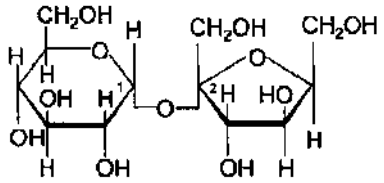


Лактоза (β-D-галактопіранозил-(1-4)-α-D-глюкопіраноза)



Мальтоза (α-D-глюкопіранозил-(1-4)-α-D-глюкопіраноза)

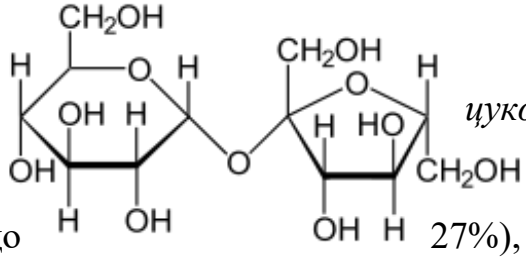
Молекула невідновлюючого дисахариду (зв'язок 1→1 або 1→2) утворюється з двох молекул моносахаридів за рахунок їх глікозидних гідроксилів, формуючи закріплені циклічні форми, що не здатні розмикатися у звичайних умовах і вступати в реакції відновлення. Типові для альдегідів і кетонів:



Сахароза (α-D-глюкопіранозил-(1-2)-β-D-фруктофуранозид)

До дисахаридів, які мають відновні властивості (мальтозний тип зв'язку), належать мальтоза, лактоза, целобіоза. До дисахаридів, які не мають відновних властивостей (трегалозний тип зв'язку) належать сахароза, трегалоза.

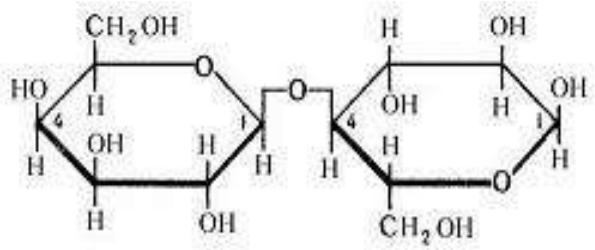
Серед дисахаридів найбільш поширені і мають важливе значення для організму сахароза, лактоза, мальтоза, трегалоза, целобіоза.



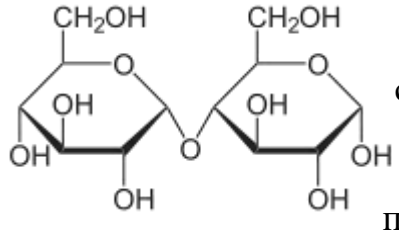
Сахароза (буряковий або тростинний цукор). Міститься у всіх зелених рослинах, особливо в коренеплодах цукрового буряка (до 27%), в соку цукрової тростини. Молекула сахарози складається із залишків глюкози і фруктози. Немає відновних властивостей.

Розщеплюється під впливом ферменту інвертази (сахарази). В результаті гідролізу сахарози в тонкій кишці утворюється суміш глюкози і фруктози – інвертний цукор, який обертає площину світла вліво. Природний інвертний цукор – бджолиний мед. Сахароза – це цінний продукт харчування, широко використовується також у фармацевтичній промисловості для виготовлення порошків, мікстур.

Лактоза (молочний цукор). Цей дисахарид міститься в молоці. Єдиний дисахарид, який синтезується в організмі (в молочній залозі).

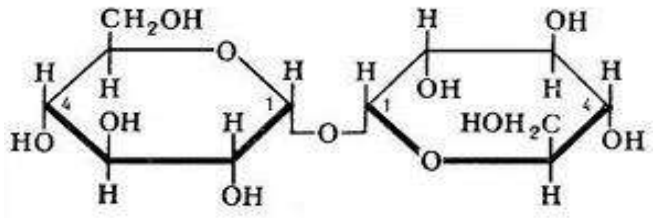


Складається з молекул глюкози і галактози. Належить до мальтозного типу зв‘язку. Найбільше лактози міститься в молоці носорога (30%), серед сільськогосподарських тварин – в кобилячому молоці (5-6%). З кобилячого молока роблять напій – кумис. Розщеплюється під впливом ферменту лактази.



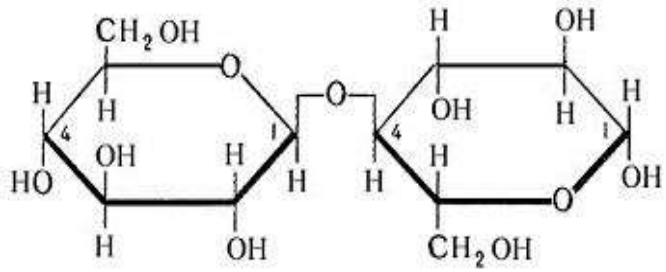
Мальтоза (солодовий цукор). Молекула мальтози складається із залишків двох альфа-глюкоз.

Має відновні властивості. Мальтоза є проміжним продуктом гідролізу крохмалю, глікогену. Багато мальтози є в пророслих зернах ячменю (солоді), жита, пшениці та інших злаків, а також у томатах і нектарі багатьох рослин.



Трегалоза (мікоза або грибний цукор). Міститься в грибах, водоростях, лишайниках, в дріжджах, а також в гемолімфі червів і комах. Складається із двох залишків глюкози, сполучених глікозидним зв‘язком 1,1. Немає відновних властивостей.

Целобіоза. Утворюється в травному каналі травоїдних тварин (особливо в передшлунках жуйних) під впливом бактеріального ферменту целюлази як проміжний продукт гідролізу клітковини.



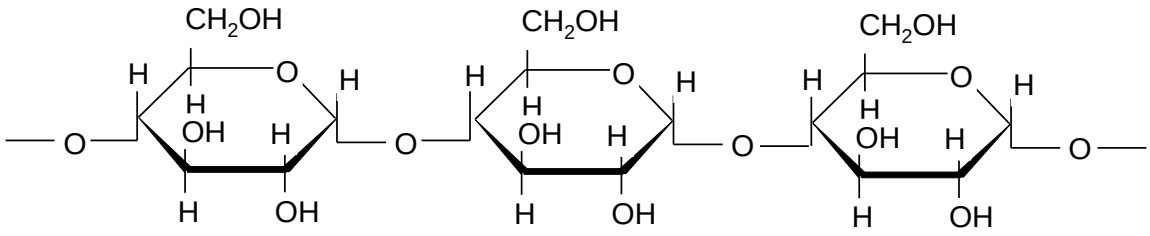
Молекула целобіози складається із двох залишків бета-глюкози. Целобіоза має відновні властивості. Вона добре розчиняється у воді, майже не солодка. У вільному стані знайдена в пророслих зернах злаків, кісточках абрикосів, патоці деяких дерев.

Полісахариди. Поділяються на *гомополісахариди і гетерополісахариди.* Молекули гомополісахаридів побудовані з великої кількості залишків одного моносахариду: глюкози, фруктози тощо. Найбільше значення мають крохмаль, глікоген, інулін, клітковина.

Молекули гетерополісахаридів побудовані із залишків різних моносахаридів. До них належать гіалуронова кислота (є хімічною основою скловидного тіла ока, пупкового канатику), хондроїтинсульфатна кислота (складова частина хрящів, кісток, шкіри, стінок кровоносних судин), гепарин (антикоагулянт).

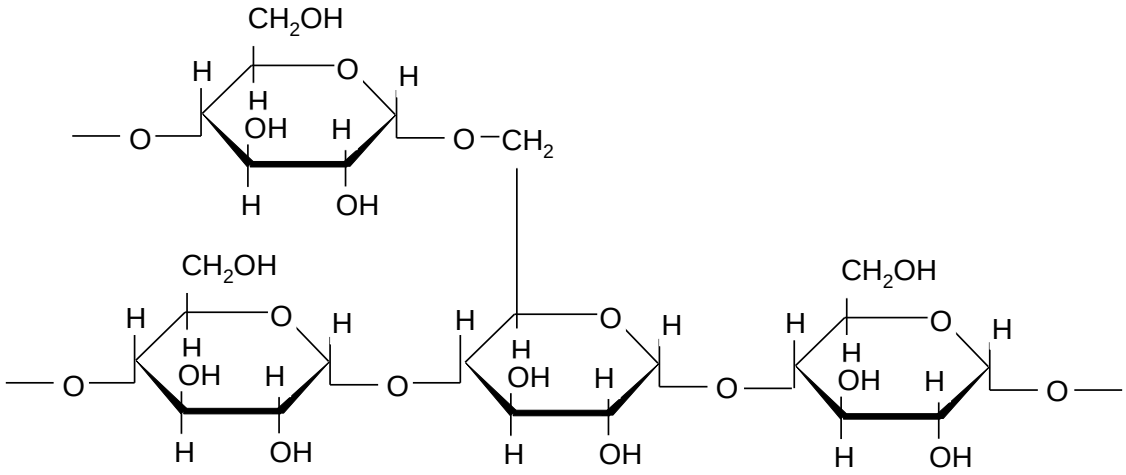
Основні гомополісахариди. Крохмаль. Утворюється при фотосинтезі у хлоропластах рослин і відкладається у вигляді зерен в різних органах рослин. Загальна формула крохмалю – $(C_6H_{10}O_5)_n$. За фізичними властивостями крохмаль – це білий аморфний порошок, у гарячій воді набухає, з йодом дає синє забарвлення. Молекула крохмалю побудована із залишків альфа-глюкози.

Крохмаль складається із двох фракцій: амілози (10-30%), яка має лінійну будову, і амілопектину (70-90%), який має розгалужену будову. В амілозі залишки глюкози зв‘язані 1,4-глікозидними зв‘язками. Молекулярна маса амілози 20 тис- 1 млн, кількість залишків глюкози – 200-1000. Амілоза добре розчиняється у воді, при додаванні йоду забарвлюється у темно-синій колір:



Фрагмент молекули крохмалю (амілоза)

Молекули амілопектину відрізняються від амілози значною розгалуженістю своїх ланцюгів. У місцях розгалужень залишки альфа-глюкози зв‘язані 1,6-глікозидними зв‘язками. Амілопектин у гарячій воді утворює клейстер, а з йодом дає червоно-фіолетове забарвлення. Молекулярна маса його від 100 тис до кількох млн, кількість залишків глюкози – 5000-6000:



Фрагмент молекули крохмалю (амілопектин)

Крохмаль може зазнавати гідролізу під впливом ферментів амілази і мальтази. Гідроліз крохмалю проходить за такою схемою:

$$(C_6H_{10}O_5)_n \xrightarrow{H_2O} (C_6H_{10}O_5)_x \xrightarrow{H_2O,\ n} 2\,C_{12}H_{22}O_{11} \xrightarrow{H_2O} nC_6H_{12}O_6$$

крохмаль декстрини мальтоза глюкоза

Декстрини – полісахариди з меншою молекулярною масою, ніж у крохмалю, продукти неповного розщеплення крохмалю. Добре розчиняються у воді, мають відновні властивості. В залежності від того, яке забарвлення вони дають з йодом, декстрини поділяються на:

-амілодекстрини + йод – синьо-фіолетове забарвлення;

-еритродекстрини + йод – червоно-буре забарвлення;

-ахродекстрини + йод – жовто-буре забарвлення;

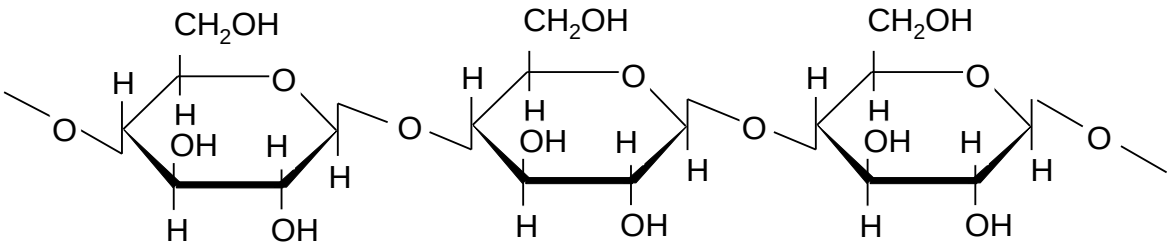
-мальтодекстрини + йод – не дають забарвлення.

Крохмаль – цінний продукт харчування, основне джерело вуглеводів. Широко використовується в харчовій, текстильній промисловості, у медицині, в побуті.

Глікоген – тваринний крохмаль. Основна резервна речовина організму людини і тварин. Найбільше глікогену міститься в печінці (2-5%) і м'язах (0,5-2%). Глікоген, як і крохмаль, побудований із залишків глюкози і має таку саму загальну формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$. Всі процес життєдіяльності, і в першу чергу, робота м‘язів, проходять одночасно із розщепленням глікогену.

Глікоген – білий аморфний порошок, добре розчиняється навіть у холодній воді. За хімічною структурою глікоген схожий з амілопектином. Від амілопектину він відрізняється тільки більшою розгалуженістю молекули, більшою молекулярною масою (від 400 тис до 5 млн). Молекула побудована із 2400-300 тис залишків глюкози. У травному каналі глікоген розщеплюється ферментами амілазою і мальтазою. З розчином йоду глікоген дає забарвлення від винно-червоного до червоно-бурого, залежно від виду тварин, з яких його виділено. Глікоген в організмі людини і тварин синтезується з глюкози і нагромаджується в органах і тканинах, в періоди між прийманням їжі він розщеплюється і постачає організм глюкозою.

Целюлоза (або клітковина). Побудована із залишків бета-глюкози, зв‘язаних між собою 1,4-глікозидними зв‘язками. Клітковина складає основу оболонок клітин. Є головною складовою частиною рослинних кормів. Структурна одиниця клітковини – целобіоза:



Ниткоподібні молекули целюлози, розміщуючись паралельно, збираються в пучки, де між ними виникають водневі зв‘язки в результаті взаємодії гідроксильних груп. Певна кількість пучків збирається у волокна. Ці особливості будови є причиною нерозчинності целюлози у воді та органічних розчинниках і механічної міцності її волокон. Внаслідок такої будови розчинник не може проникнути всередину пучка.

Спеціальних ферментів, які розщеплюють клітковину, організм людини і тварин не виробляє. В передшлунках жуйних і в ободовій кишці однокопитних целюлоза під впливом бактеріальних ферментів целюлази і целобіази гідролізується до бета-глюкози, яка зазнає різних видів бродінь. У моногастричних тварин целюлоза сприяє перистальтиці кишечнику, є своєрідним подразником шлунково-кишкової секреції.

Інулін. Мономером інуліну є фруктоза. Інулін – це резервний полісахарид багатьох родин рослин (фіалкових, складноцвітих, лілійних та ін.). Багато його міститься у бульбах топінамбуру (земляної груші) та жоржин – від 40 до 80% загальної сухої маси. Молекула інуліну побудована із залишків фруктози, які сполучаються між собою за типом 1,2-зв‘язку. Інулін досить легко засвоюється організмом, тому є цінною кормовою речовиною. При цукровому діабеті може застосовуватись як замінник цукру.

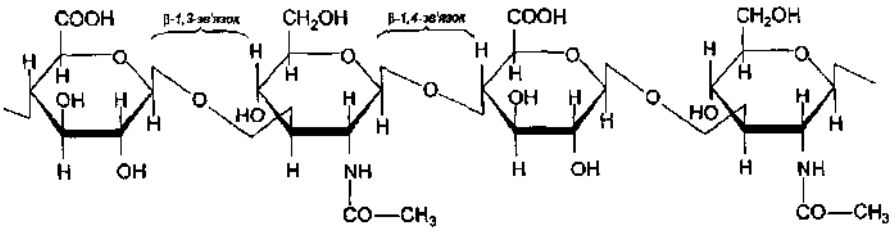
Ще одним представником гомополісахаридів є *хітин,* який виконує захисні функції, є зовнішнім скелетом для представників типу членистоногих.

Гетерополісахариди виконують в організмі такі функції: опорну (хондроїтинсульфатна кислота), захисну (гепарин), регуляторну (гіалуронова кислота). Поділяються на дві групи: *глікозамінглікани і глікополісахариди.*

Глікозамінглікани входять до складу протеогліканів – високомолекулярних вуглеводно-білкових сполук (частка білка 1-2%). Вони поділяються на кислі і нейтральні. З кислих глікозамінгліканів найбільше поширення мають такі представники:

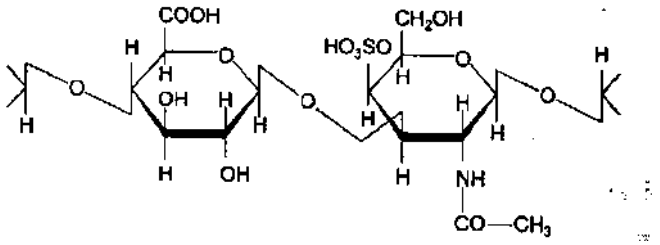
Гіалуронова кислота. Гетерополісахарид, побудований із залишків молекул глюкуронової і оцтової кислот, глікозаміну. Молекулярна маса – 200 тис-кілька млн. Гіалуронова кислота є хімічною основою склистого тіла ока, пупкового канатика, синовії, блискучої оболонки яйцеклітини, капсул деяких мікробів, багато її в клітинах окремих пухлин тощо. У тканинах виконує роль «цементуючої» речовини, є бар’єром, який захищає клітини від проникнення в них мікробів і отруйних речовин, бере участь у регуляції надходження в клітини води та інших сполук, як поліелектроліт, регулює обмін йонів. Полісахарид характеризується високим ступенем метаболізму – період

напіврозпаду його молекули становить дві доби. Обмін гіалуронової кислоти порушується при мікседемі, ревматизмі, бактеріальних інфекціях.



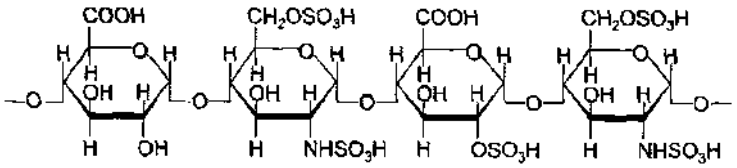
Фрагмент гіалуронової кислоти

Хонроїтинсульфатна кислота. Продукт полімеризації ацетилгалактозамінсульфату і глюкуронової кислоти, сполучених між собою бета-1,3 - і бета-1,4-глікозидними зв'язками. Складова частина хрящів (до 40% сухої маси), кісток, основної речовини сполучної тканини, серцевих клапанів, стінок кровоносних судин, шкіри тощо. В організмі виконує опорні функції. Її молекулярна маса – 50-200 тис, у комплексі з колагеном – 40-50 млн. Бере участь в йонному обміні й регуляції надходження поживних речовин у клітини. Період напіврозпаду молекул кислоти в основній речовині шкіри – 8, хряща – 16 діб.



Фрагмент молекули хондроїтинсульфату (хондроїтин-4-сульфат)

Гепарин – це глікозамінглікан, молекула якого утворена залишками альфа-D-глюкозаміну, глюкуронові, оцтової та сульфатної кислот:



Фрагмент молекули гепарину

Це білий аморфний порошок, розчинний у воді, стійкий проти нагрівання. Його молекулярна маса – 15-20 тис. В організмі виробляється тканинними базофілами. Пригнічує утворення тромбокінази й інактивує тромбін, зменшує вміст у крові холестерину, знижує артеріальний тиск. Багато гепарину міститься в тканинах печінки (до 100 мг на 1 кг маси); дещо менше – в тканинах легенів, селезінки, щитоподібної залози, м'язів.

Натрієву сіль гепарину застосовують як антикоагулянт при переливанні крові й тромбозах. З тканин легенів, а також із стінок аорти виділено гепаринсульфат.

Нейтральні глікозамінглікани. Складні вуглеводи, молекула яких складається з багатьох залишків нейрамінової і сіалових кислот. Містяться у всіх органах і тканинах, секретах і слизах. Причому в набагато більших кількостях, ніж кислих глікозамінгліканів. Є компонентами багатьох глікопротеїдів, у тому числі ферментів і гормонів. Окремі визначають групу крові у тварин.

Глікополісахариди мають подібну будову з кислими глікозамінгліканами, однак у складі їх молекул немає залишків гексоза міну. Типовими їх представниками є пектинові речовини.

Пектинові речовини – високомолекулярні сполуки, побудовані із залишків молекул галактуронової кислоти і метилового спирту. Місяться в коренях цукрового буряка й моркви (2,5%), бульбах і стеблах кормових рослин (0,8-1,3%), ягодах і фруктах, соняшниковій луззі й жомі. Молекулярна маса – 20-50 тисяч. Це цінний кормовий засіб, сировина для виготовлення кровоспинних препаратів, антибіотиків. Використовується в сироварінні.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Біологічне значення і класифікація вуглеводів.

2. Будова і конфігурація моносахаридів (тріоз, тетроз, пентоз, гексоз). Поняття про стереоізомерію.

3. Явище мутаротації. Циклічні форми моносахаридів. Конформація моносахаридів.

4. Будова редукуючих та нередукуючих дисахаридів.

5. Будова та біологічне значення гомополісахаридів (крохмаль, глікоген, целюлоза, хітин).

6. Будова та біологічне значення гетерополісахаридів (гіалуронова кислота, хондроїтинсульфати, гепарин).

3.4. Структурно-функціональна характеристика ліпідів

Прості ліпіди. ***Ліпіди*** (від грец. lipos – жир) – велика група різних за хімічною природою органічних речовин, до яких входять жири і жироподібні речовини із спільними фізико-хімічними властивостями. Однією з таких спільних властивостей ліпідів є нерозчинність їх у воді і здатність добре розчинятися в органічних розчинниках – спирті, ефірі, хлороформі, ацетоні, бензолі та інших. Ліпіди є естерами спиртів і вищих жирних кислот, які здатні утворювати емульсії. В залежності від функціонального призначення ліпіди поділяють на *протоплазматичні (структурні)* і *резервні (запасні)*, що відкладаються під шкірою, біля внутрішніх органів. Структурні ліпіди не зникають навіть при голодуванні. Більша частина жиру в організмі знаходиться у зв‘язаному вигляді з білками та вуглеводами.

За хімічною будовою виділяють *прості і складні ліпіди.* Прості ліпіди утворюються із залишків спиртів та вищих жирних кислот, складні – утворені із спиртів, вищих жирних кислот та інших речовин (фосфорної кислоти, сульфатної кислоти, вуглеводів). До простих ліпідів належать нейтральні жири (тригліцериди, триацилгліцерини), стериди і воски (цериди).

Нейтральні жири – це естери трьохатомного спирту гліцерину і вищих жирних кислот. Схематично молекула жиру має таку структуру:

$$\begin{array}{l} CH_2 - O - \overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}} - R_1 \\ | \\ CH - O - OC - R_2 \\ | \\ CH_2 - O - OC - R_3, \end{array}$$

де: R_1, R_2, R_3 – залишки вищих жирних кислот.

До складу жирів входять насичені і ненасичені вищі жирні кислоти:

Насичені жирні кислоти

Назва	Формула
Капринова (деканова)	$CH_3(CH_2)_8COOH$
Лауринова (додеканова)	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
Міристинова (тетрадеканова)	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
Пальмітинова (гексадеканова)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
Стеаринова (октадеканова)	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
Арахінова (ейкозанова)	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$

Мононенасичені (з одним подвійним зв'язком) жирні кислоти

Назва	Формула
Пальмітоолеїнова	$CH_3(CH_2)_5CH{=}CH{-}(CH_2)_7{-}COOH$
Олеїнова	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH{-}(CH_2)_7{-}COOH$
Гадолеїнова	$CH_3(CH_2)_9CH{=}CH{-}(CH_2)_7{-}COOH$

Поліненасичені (з двома і більше подвійними зв'язками) жирні кислоти

Назва	Формула
Лінолева	$CH_3(CH_2)_4CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$
Ліноленова	$CH_3CH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$
Арахідонова	$CH_3(CH_2)_4CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_3COOH$

Жири дуже поширені в природі. У складі тваринних жирів переважають насичені жирні кислоти. Тому тваринні жири тверді. Жири рослинного походження (олії) в своєму складі містять залишки ненасичених жирних кислот і є рідинами (крім пальмітинового масла).

Доведено, що деякі ненасичені вищі жирні кислоти не синтезуються в організмі людини і тварин або утворюються в недостатній кількості. Їх називають *незамінними кислотами:* лінолева, ліноленова, арахідонова. Основним джерелом поповнення організму людини незамінними жирними кислотами є льняна, конопляна, кукурудзяна та соняшникова олія. Ці рослинні жири містять переважно лінолеву і ліноленову кислоти. Вершкове масло багате на арахідонову кислоту.

Якість і чистота жирів характеризуються фізичними і хімічними константами. До фізичних констант відносяться: густина, температура плавлення і твердннення, консистенція, запах, смак, колір, для рідких жирів – коефіцієнт рефракції. Основні хімічні константи жирів:

• йодне число жиру – характеризує ступінь ненасиченості жирних кислот в жирах;

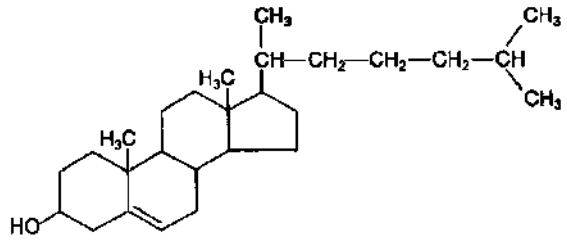
• кислотне число – характеризує кількість вільних жирних кислот в жирах;

• число омилення – показує кількість вільних і зв‘язаних жирних кислот в жирах (визначається шляхом взаємодії жиру і лугу);

• число Рейхарда-Мейсля жирів – характеризує наявність в жирах летких жирних кислот (мають не більше десяти вуглецевих атомів в ланцюгу).

Стериди – естери поліциклічних спиртів (стеролів) і вищих жирних кислот. Стериди становлять фракцію ліпідів, яка не омилюється. Вони входять до складу клітинних мембран. Розрізняють зоо-, фіто-, мікостерини.

Стероли (або стерини) – похідні циклопентанпергідрофенантрену. Їх основним представником є *холестерин (холестерол)* – $C_{27}H_{45}OH$. Це високомолекулярний, поліциклічний, одноатомний, ненасичений тваринний спирт. Вперше знайдений в каменях жовчного міхура (chole – жовч; steros – твердий).



Холестерол

Багато холестерину міститься в білій речовині мозку, в печінці. Він здатний утримувати певну кількість води. З білками утворює комплексні сполуки.

Характерним представником групи стеролів є спирт *ергостерин (ергостерол)* – $C_{28}H_{43}OH$. Він міститься у дріжджах, цвілевих грибах, в пшеничному зерні. Він є попередником вітаміну $Д_2$ (утворюється при дії на ергостерин ультрафіолетових променів).

З різних продуктів рослинного походження виділено ряд стеролів: дигідростерол ($C_{27}H_{47}OH$) – є в ендоспермі пшениці; ситостерол ($C_{29}H_{49}OH$) – міститься в зародках пшениці, рисі, арахісі, льоні, кукурудзяній олії, насінні гарбуза; стигмастерол ($C_{29}H_{47}OH$) – міститься с соєвій олії, олії баобаба, олії зеленої кави.

Воски. Це естери вищих спиртів і вищих жирних кислот. За фізико-хімічними властивостями вони близькі до жирів, проте вони більш стійкі проти дії світла, окисників, нагрівання, важче піддаються гідролізу.

Природні воски, крім естерів, містять певну кількість вищих спиртів і вищих жирних кислот, а також невелику кількість вуглеводів, барвників та пахучих речовин. Загальна кількість цих домішок може досягати 50%. Розрізняють:

-воски рослинного походження (карнаубський, канделильський);

-воски тваринного походження (спермацет, ланолін, бджолиний віск);

-синтетичні воски (церезин і монтан);

-продукти виділення деяких комах (китайський віск).

Бджолиний віск виробляється восковими залозами бджіл. Його основу становлять естер пальмітинової кислоти і мірицилового спирту:

$C_{30}H_{61}$ - O - C - $C_{15}H_{31}$

‖

O

До складу бджолиного воску входять також вільні вищі жирні кислоти, насичені вуглеводні та деякі інші речовини.

Ланолін – віск, виділений шляхом промивання вовни овець, в‘язка маса буро-жовтого кольору. Це суміш естерів, утворених вищими спиртами (цетиловим, карнаубовим, холестерином) і вищими жирними кислотами. Ланолін досить стійкий проти дії кислот, лугів і служить основою для виготовлення різних кремів і мазей.

Спермацет. Добувають із спермацетового масла, яке є в мозку кашалота. Естер цетилового спирту і пальмітинової кислоти:

$C_{16}H_{33}$ - O - C - $C_{15}H_{31}$

‖

O

Від одного кашалота можна отримати до 5 т спермацету. Використовується він для приготування косметичних засобів і мазей, якими лікують виразки шкіри.

Рослинні воски. Вкривають тонким шаром листя, стовбури і плоди рослин, захищаючи рослинні тканини від мікробів. Представником рослинних восків є карнаубський віск. Його добувають з листя деяких пальм і використовують для виготовлення свічок. Основа карнаубського воску – естер мірицилового спирту і церотинової кислоти:

$C_{30}H_{61}$ - O - C - $C_{25}H_{51}$

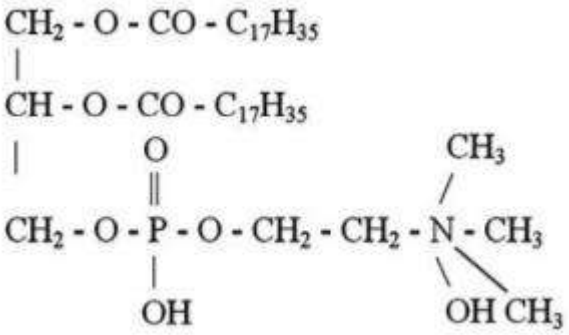
‖

O

Складні ліпіди. Вони містять в своєму складі спирти, вищі жирні кислоти, залишки сульфатної кислоти, фосфорної кислоти, вуглеводи. Представниками складних ліпідів є фосфоліпіди, сульфоліпіди, гліколіпіди.

В залежності від азотистих основ, які містяться в їх складі, ***фосфоліпіди*** поділяються на шість груп. Найбільше фосфатидів міститься в нервовій тканині (до 30%), печінці (16%), нирках (11%), серці (10%).

Холінфосфоліпіди (лецитини) – складаються із залишків гліцерину, двох залишків вищих жирних кислот, залишку фосфорної кислоти і залишку холіну:



Високий вміст лецитинів характерний для спинного і головного мозку (12-35%), жовтка курячого яйця (6-12%), легень, нирок, печінки, надниркових залоз (2-4%).

Холін, який входить до складу лецитинів, володіє ліпотропними властивостями (попереджує ожиріння печінки). Холіну багато в нерафінованій соняшниковій олії та інших рослинних оліях.

Коламінфосфоліпіди (кефаліни) – до їх складу входять гліцерин, дві вищі жирні кислоти, фосфорна кислота і азотиста речовина – коламін:

CH_2 - OH

|

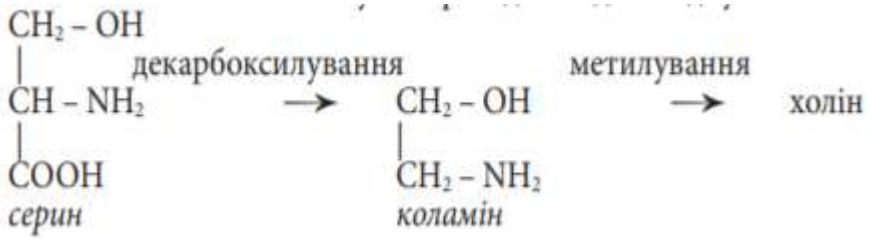
CH_2 - NH_2

Містяться в тих же органах, що і лецитини. Утворюють з білками ліпопротеїдні комплекси. Багато кефалінів в мітохондріях.

Серинфосфоліпіди – в їх молекулі азотистою основою є амінокислота серин:

CH_2 - OH
|
CH - NH_2
|
COOH

Серинфосфоліпідів багато в нервовій тканині, печінці, нирках. Між лецитинами, кефалінами, серинфосфоліпідами існує генетичний зв‘язок, оскільки азотисті основи можуть переходити одна в одну:



Ацетальфосфоліпіди (плазмалогени) – у їх будові беруть участь альдегіди вищих жирних кислот. Разом з кефалінами плазмалогени містяться переважно в складі нервової і м‘язової тканин.

Інозитфосфоліпіди – містять циклічний спирт інозит. Досить поширені в живій природі. Вони є в організмі людини, тварин і рослин. Особливо багато їх в складі нервової тканини.

Сфінгозинфосфоліпіди (сфінгомієліни) – містять трьохкомпонентний спирт сфінгозин, який зв‘язується пептидним зв‘язком з вищою жирною кислотою і ефірним зв‘язком з фосфорною кислотою. Фосфорна кислота зв‘язується з азотистою основою холіном. Багато сфінгомієлінів у нервовій тканині. Вони складають основу мієлінових оболонок нервових волокон.

Гліколіпіди. Їх молекули містять вуглеводний компонент. Найбільше значення з гліколіпідів мають цереброзиди і гангліозиди.

Цереброзиди містяться в тканинах мозку. Вуглеводний компонент – глюкоза або галактоза. Виконують важливу структурну і метаболічну функції.

Гангліозиди. До їх складу входять залишки галактози і глюкози, сфінгозин, нейрамінова кислота. Гангліозиди є важливим структурним компонентом нейронів, беруть участь у проведенні нервових імпульсів та в обмінних процесах організму.

Сульфоліпіди містять залишок сульфатної кислоти. Є в тканинах мозку, печінки, нирок, м‘язів. Вони з'являються у сечі при церебральному склерозі.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Класифікація та головні функції ліпідів.

2. Будова та властивості нейтральних жирів Найважливіші жирні кислоти, які є у складі природних жирів.

3. Фізико-хімічні властивості жирів. Хімічні константи жирів.

4. Будова та властивості фосфоліпідів.

5. Будова та властивості стеролів і стеридів.

3.5. Структура, фізико-хімічні властивості білків

Загальна характеристика та функції білків. Серед органічних сполук організму людини особлива роль належить білкам. ***Білки (протеїни)*** – високомолекулярні органічні речовини, побудовані з великої кількості залишків амінокислот. Вони є найбільш важливими в біологічному відношенні і найбільш складними за своєю хімічною структурою сполуками. Білки становлять структурну і функціональну основу усіх живих організмів.

Важлива роль білків в життєдіяльності організмів відзначалася ще в першій половині 19 століття. Так, в 1838 році голандський вчений Мульдер назвав їх протеїнами (від грец.proteous – перший, найважливіший). Назва «білки» виникла в зв’язку з тим, що вони за рядом своїх властивостей нагадували яєчний білок. Зараз у біологічній літературі використовуються обидва терміни – білки і протеїни. Білки в організмі виконують найрізноманітніші функції:

Структурна функція. Білки входять до складу всіх органів і тканин (18-21% загальної сирої маси організму людини і тварин і до 45-50% їх сухої маси), беруть участь в утворенні мембранних структур, мітохондрій, рибосом,

цитоплазми. Людині і вищим тваринам білки необхідні для утворення стінок судин, формування покривних, м'язевих і сполучних тканин організму, вони становлять основу органічної частини кісткової тканини, хрящів, зв'язок і сухожилок.

Каталітична функція. Білкову природу мають усі ферменти – біологічні каталізатори, що зумовлюють перебіг хімічних реакцій в організмі. Вони є необхідними для життєдіяльності кожного живого організму. Відомо близько 2 тис. білків, які ферментативно активні, більше 200 з них виділено в кристалічному стані.

Регуляторна функція. Білками або продуктами білкового обміну представлена значна кількість гормонів. Це такі гормони, як інсулін, глюкагон, вазопресин, окситоцин та ін. Гормони беруть активну участь в регуляції процесів обміну, в процесах росту і розвитку організму.

Транспортна функція. Для нормальної життєдіяльності кожного організму необхідне постійне забезпечення його органів і тканин поживними речовинами. Ці речовини переносяться з током крові сполуками білкової природи. Наприклад, перенесення кисню до тканин, а на зворотному шляху вуглекислого газу до легень здійснюється за допомогою складного білка – гемоглобіну. Транспорт різних груп ліпідів і жиророзчинних вітамінів до різних органів і тканин здійснюється за участю складних білків – ліпопротеїдів.

Захисна функція. Здійснюється в основному за участю білків γ- глобулінів, з якими пов'язані імунні реакції організму. Антитіла, які утворюються в організмі при несприятливій дії на нього різних факторів (хвороботворних бактерій, вірусів, токсинів), мають білкову природу. Білок крові фібриноген бере безпосередню участь в процесах зсідання крові, оберігаючи організм від надмірних крововтрат.

Скорочувальна функція. Білки беруть участь в забезпеченні різних форм механічного руху – скороченні і розслабленні м'язів, роботі внутрішніх органів – серця, легень, шлунка. Ці процеси здійснюються за участю таких білків, як актин, міозин, тропоміозин.

Енергетична функція. Білки, як і вуглеводи і ліпіди, є також важливим джерелом енергії для організму. Так, при розщепленні 1 г білків організм отримує 4,1 ккал або 17,18 кДж енергії. За рахунок білків організм людини отримує 10-15% енергії.

Джерело води. При окисненні 100 г білків вивільняється 41,3 г H_2O.

Дихальна функція. Такі складні білки як гемоглобін і міоглобін забезпечують організм киснем. Велика кількість міоглобіну міститься у м'язах тварин, які живуть у воді (кити, тюлені).

Створення онкотичного тиску. Онкотичний тиск – це тиск, який створюють білки крові (15-17 мм.рт.ст.). Він відіграє важливу роль в процесах транс капілярного обміну речовин, забезпечує утримання води в крові.

Перші дані про елементарний склад білків з'явились у 1809 році на основі досліджень Грена. У результаті хімічних аналізів білків було встановлено їх складові елементи та кількісне співвідношення (в %): Карбон – 50-55%; Нітроген – 15-17%; Гідроген – 6,5-7,3%; Оксиген – 21-23%; Сульфур – 0,3-2,5%. У складі білків було виявлено також Фосфор (1-2%), Йод, Ферум та інші елементи.

Оскільки у складі різних білків найбільш стабільним є вміст Нітрогену (16%), то за його кількістю почали визначати вміст білків у тканинах органів, рідинах, препаратах. Для цього отриману в результаті аналізу кількість Нітрогену множать на білковий коефіцієнт – 6,25 (100:16=6,25). Молекулярна маса білків коливається в широких межах: від кількох тисяч до сотень мільйонів.

Більшість білків розчиняються у воді. Вони можуть бути у різних станах: деякі з білків є рідкі, як от білки в молоці, в плазмі крові; інші білки бувають у твердому стані, як наприклад білки сухожилок, шкіри, волосся. Деякі білки є в напіврідкому стані, як наприклад, окремі білки протоплазми. Розчини білків звичайно каламутні. Вони здатні розсіювати промені світла.

Білки мають ізоелектричну точку (ІЕТ) – значення pH, при якому білок на своїй поверхні несе мінімальний електричний заряд (кількість позитивних

зарядів дорівнює кількості негативних зарядів). При такому значенні pH білок випадає в осад. Для більшості білків ІЕТ знаходиться при pH=5.

Для білків характерним є те, що вони не проходять через напівпроникливі оболонки або мембрани (целофан, пергамент, тканинні мембрани), в той час як низькомолекулярні сполуки досить легко проходять через них, тому що величина молекул цих речовин менша, ніж розміри пор в мембранах. Це явище використовується для очищення білків від низькомолекулярних домішок, отримання лікарських препаратів (імунних сироваток, гама-глобулінів). Метод такої очистки білкових речовин називається *діалізом* (рис. 3.4).

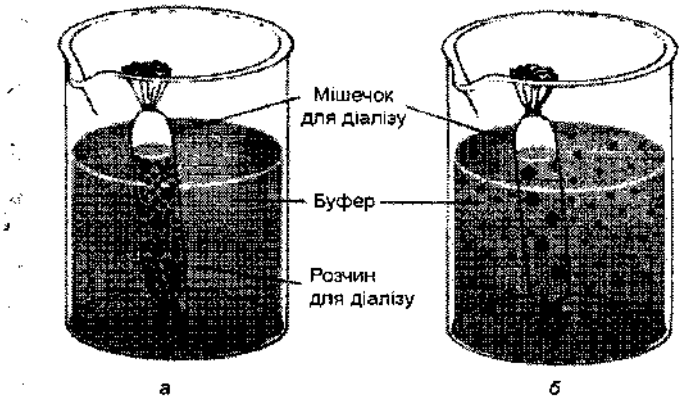


Рис. 3.4. Діаліз: а – початок діалізу; б – завершення діалізу

Білки мають здатність коагулюватись. Коагуляція є зворотня і незворотня. Останню ще називають денатурацією. *Денатурація* – це коагуляція, при якій білок втрачає всі свої фізичні, хімічні і біологічні властивості (рис. 3.5).

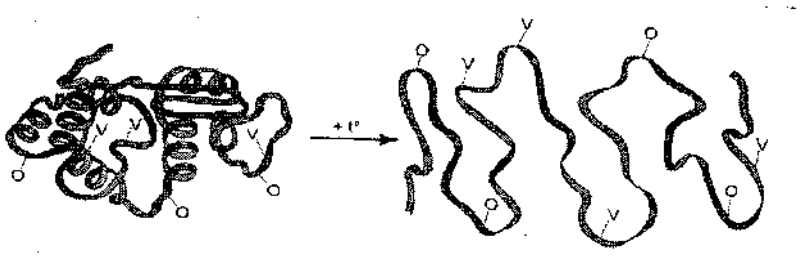


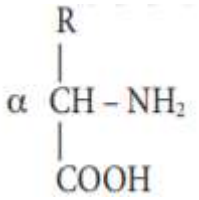
Рис. 3.5. Схематичне зображення механізму денатурації

Білки – амфотерні електроліти. При лужному, кислотному або ферментативному гідролізі вони розпадаються до амінокислот. Оскільки в амінокислотах є одночасно і карбоксильна група COOH, і амінна група NH_2, білки проявляють одночасно властивості і кислоти, і основи (амфотерні властивості).

Разом з вивченням елементарного складу білків було розпочато вивчення їх будови. Уже в другій половині XIX ст. було встановлено, що основними структурними компонентами білка є амінокислоти. Їх відомо понад двадцять. З'єднуючись в певній послідовності, амінокислоти утворюють поліпептидні ланцюги, структура яких визначає відмінність одного білка від іншого.

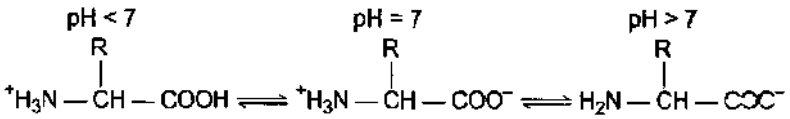
Амінокислоти – складові частини білків. ***Амінокислоти*** – похідні карбонових кислот, в радикалі яких один чи кілька атомів Гідрогену заміщені на аміногрупи. В амінокислотах, які входять до складу білків, аміногрупа розміщена біля альфа-вуглецевого атома, тобто усі вони є альфа-амінокислотами.

Загальну формулу амінокислот можна записати так:



Амінокислоти відрізняються між собою лише хімічною природою радикалів.

Виділені з білків амінокислоти – це безбарвні, кристалічні речовини, переважна більшість яких добре розчинна у воді і погано розчинна в органічних розчинниках. Вони є слабкими електролітами, тобто містять групи як кислотного, так і основного характеру (є біполярними йонами). Їхній заряд залежить від кількості цих груп і pH середовища:



Амінокислоти – оптично активні сполуки. В білках рослинного і тваринного походження знайдено амінокислоти L-ряду; D-амінокислоти синтезовані штучно.

За хімічною будовою амінокислоти діляться на ациклічні (нециклічні) та циклічні (ізоциклічні і гетероциклічні). В групі ациклічних амінокислот виділяють: моноаміномонокарбонові амінокислоти (містять одну $-NH_2$ і

одну -COOH групи); моноамінодикарбонові амінокислоти (одна -NH_2 група і дві -COOH групи); диаміномонокарбонові амінокислоти (дві групи -NH_2 і одна група -COOH); диамінодикарбонові амінокислоти (дві групи -NH_2 і дві групи -COOH).

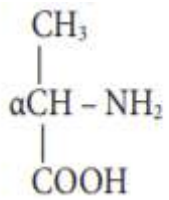
До моноаміномонокарбонових амінокислот належать гліцин, аланін, серин, метіонін, треонін, валін, лейцин, ізолейцин, норлейцин, цистеїн.

Гліцин (глікоколь, амінооцтова кислота): $NH_2 – CH_2 – COOH$.

Гліцин не синтезується в організмі курчат. Гліцину багато в желатині (25% від всіх амінокислот), немає – в альбумінах, казеїні.

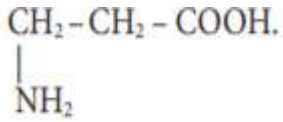
Використовується для синтезу глутатіону, гіпурової кислоти, парних жовчних кислот, пуринових основ.

Аланін (ά-амінопропіонова кислота):



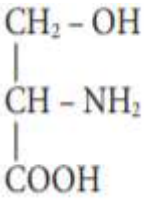
Вперше аланін добули при гідролізі натурального шовку в 1881 році.

Крім ά-аланіну в організмі виявлено і β-аланін:



Проте до складу білків він не входить.

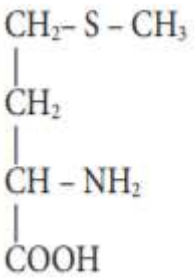
Серин:



Амінокислота виділена з фіброїну шовку в 1856 році.

Є складовою частиною багатьох білків, входить до складу активних центрів таких ферментів як трипсин, холестеринестераза, бере участь в синтезі окремих амінокислот.

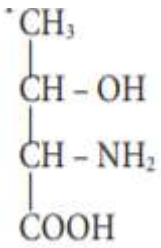
Метіонін:



Виділена з казеїну в 1922 році. В організмі відіграє надзвичайно важливу роль як донор метильних груп для забезпечення процесів синтезу холіну, адреналіну.

Бере участь в утворенні амінокислот цистеїну, цистину, вітаміну U, який попереджує і лікує виразку шлунку і 12-палої кишки (ulcus – виразка).

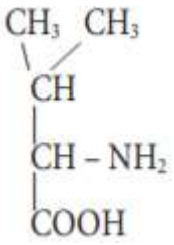
Треонін:



Амінокислоти багато в пепсині, фібрині. Отримана у 1935 році з фіброїну шовку і казеїну.

Відсутність треоніну в їжі дітей призводить до сповільнення їх росту.

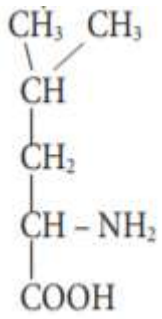
Валін:



Валін вперше виділено в 1879 році з білків підшлункової залози.

Близько 10% валіну міститься у таких білках як міоглобін, казеїн, еластин.

Лейцин:



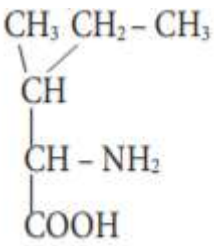
Вперше лейцин виділено у 1819 році з сиру.

Великий вміст цієї амінокислоти у пророслому зерні злакових культур. Лейцин виявлено у сечі хворих на печінкові хвороби.

Лейцин застосовується при лікуванні анемії.

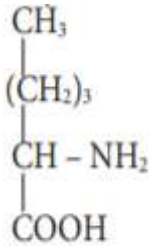
Дуже важко розчиняється у воді.

Ізолейцин:



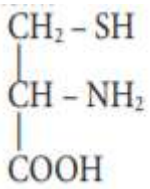
Ізолейцин міститься в білках у невеликих кількостях. Виділена у 1904 році з гідролізату фібрину. Має в молекулі два асиметричних атоми Карбону. Амінокислота не синтезуються в тканинах тварин та людини.

Норлейцин:



Норлейцин вперше було виявлено при гідролізі білків тваринного походження. Амінокислота вивільнюється в організмі при розпаді білків, але не синтезується в тканинах організму заново. Міститься в білках нервової системи.

Цистеїн:



Цистеїн виділено у 1890 році з білків покривних тканин – волосся і копит. Характерною особливістю цієї амінокислоти є те, що її сульфгідрильна група легко окиснюється. При цьому дві молекули цистеїну взаємодіють між собою і утворюють цистин. При відновленні цистину відбувається розщеплення його на дві молекули цистеїну. У значних кількостях цистеїн входить до складу багатьох білків, зокрема, білків волосся, нігтів, пір'я тощо.

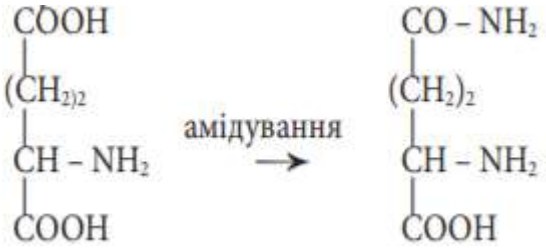
Моноамінодикарбонові амінокислоти. До них належать аспарагінова кислота і глутамінова кислота.

Аспарагінова кислота (аміноянтарна кислота) має кислий характер.

Аспарагінова кислота — Аспарагін

Виділена у 1868 році з рослинних білків. Особливо великий її вміст в соку спаржі (звідси і походить її назва). Використовують в процесах синтезу азотистих основ нуклеїнових кислот і сечовини, знешкодження аміаку, переамінування амінокислот.

Глутамінова кислота.

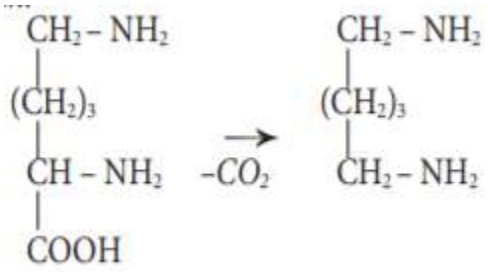


Глутамінова кислота — Глутамін

Вперше виділено у 1866 році з гідролізату клейковини пшеничного зерна. Багато її в альбумінах і глобулінах крові, колагені. Використовується при дезамінуванні, переамінуванні, декарбоксилюванні амінокислот. З неї утворюється глутамін, аміномасляна кислота.

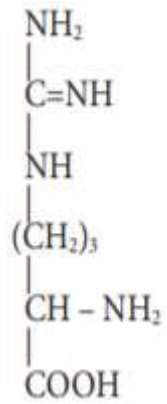
Диаміномонокарбонові кислоти. До них належать лізин, аргінін, орнітин.

Лізин.



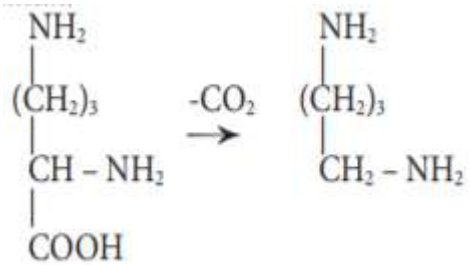
Виділена у 1889 році з казеїну. Багато міститься в білках ядер – протамінах і гістонах, також у фібриногені. Цієї дефіцитної амінокислоти мало в рослинних білках і багато в білках тваринного походження. Має лужний характер. При декарбоксилуванні утворює трупну отруту – кадаверин (kadaver – труп).

Аргінін.



Виділена у 1886 році з паростків люпину. Бере участь в синтезі сечовини, креатину. Багато аргініну в пухлинах, у спермі риб (84%).

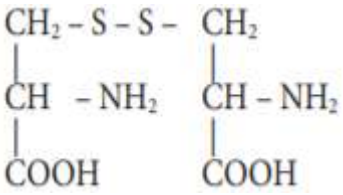
Орнітин.



Утворюється при гідролізі аргініну. При декарбоксилуванні під впливом аеробних гнильних бактерій утворює трупний яд путресцин. Орнітин є складовою частиною орнітинового циклу, в якому знешкоджується аміак.

Представником *диамінодикарбонових амінокислот* є цистин.

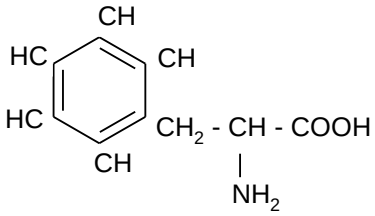
Цистин.



Складається із залишків двох частинок цистеїну. Багато його в волоссі, нігтях, рогах, пір‘ї, в епідермісі. Вперше виділена з каменів сечового міхура («циста» – міхур).

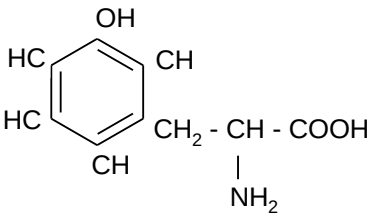
Ізоциклічні амінокислоти представлені фенілаланіном, тирозином.

Фенілаланін.



Вперше добутий в 1879 році з проростків люпину. З нього утворюються гормони тироксин, трийодтиронін в щитоподібній залозі; адреналін і норадреналін в мозковій частині наднирників; в шкірі утворюється пігмент меланін.

Тирозин

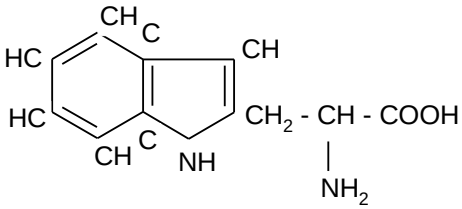


Виділений з казеїну в 1846 році. Багато тирозину в інсуліні великої рогатої худоби (до 12,5%) і пепсині (до 8,5%). Утворюється при окисненні

фенілаланіну. Використовують при синтезі тироксину, адреналіну, норадреналіну.

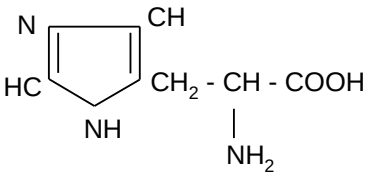
Гетероциклічні амінокислоти: триптофан, гістидин.

Триптофан



Містить індольне кільце. Добутий в 1901 році з казеїну. При гнитті білків триптофан перетворюється в індол – отруйний продукт, який знешкоджується в печінці. Використовується для синтезу вітаміну РР (нікотинової кислоти). В лабораторних умовах отримали вітамін РР з нікотину. Внаслідок відсутності необхідних ферментів в організмі людини вітамін РР з нікотину не утворюється.

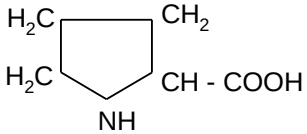
Гістидин



Виділений у 1896 році з сперми осетра і казеїну. Гістидину багато в тканинах печінки, нирок, в гемоглобіні крові. При декарбоксилуванні утворюється гістамін, який сприяє розширенню кровоносних судин та секреції соляної кислоти в шлунку. Нестача гістидину призводить до анемії. Містить імідазольне кільце.

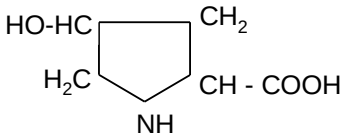
Імінокислоти. (містять іміногрупу -NH). До них належать пролін і оксипролін.

Пролін



Вперше добуто в 1901 році з гідролізату казеїну. Багато його в казеїні, колагені, проламінах, еластині, желатині.

Оксипролін



Утворюється при окисненні проліну. Вперше виділений в 1902 році з гідролізату желатини. Є в еластині, колагені.

Для виділення амінокислот у чистому вигляді користуються колориметричними і хроматографічними методами, а також амінокислотним аналізатором.

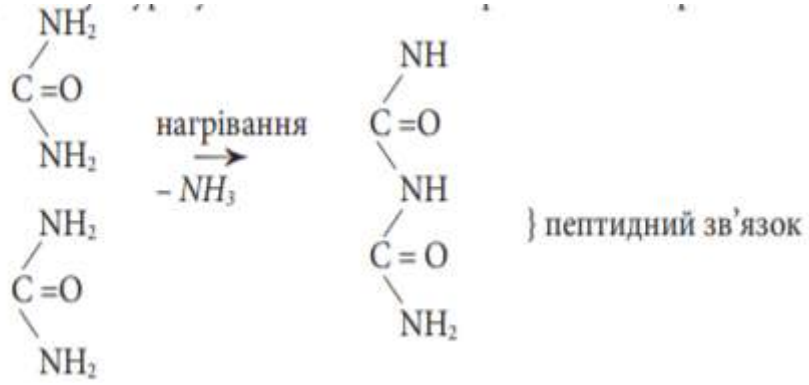
В залежності від форми молекули білки поділяють на фібрилярні, глобулярні і білки проміжного типу.

Фібрилярні білки мають ниткоподібну форму молекул. Вони погано розчиняються, не мають поживного значення. Сюди належать білки сполучної тканини, білки волосся, покривних тканин, білки м'язів, фіброїн шовку, фібрин крові та інші.

Глобулярні білки мають кулеподібну або еліпсовидну форму. Такі білки розчиняються у воді і розчинах солей, володіють каталітичною активністю. До глобулярних належать більшість білків рослинних і тваринних тканин, а також білки лімфи, плазми крові, травних соків.

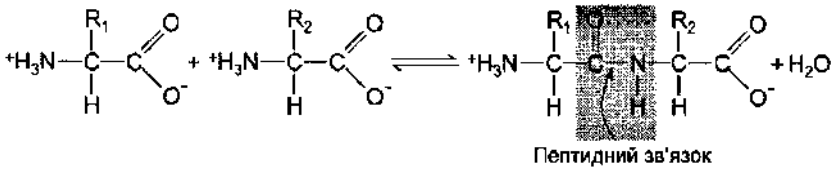
До *білків проміжної групи* належать міозин і фібриноген. Для них характерна фібрилярна структура і в той же час вони розчинні у водно-сольових розчинах.

Види зв'язків в молекулі білків. Вперше вивчення будови білкових речовин було поставлено на наукову основу О.Я. Данилевським. Він висунув гіпотезу про те, що основними компонентами молекул білка необхідно вважати амінокислоти, які зв'язані за допомогою груп –СО – NH-. При доливанні лужного розчину сульфату міді до розчину біурету з'являється синьо-фіолетове забарвлення.



Сечовина біурет

О.Я. Данилевський вважав, що біуретова реакція зумовлена чергуванням груп -CO – NH- в молекулі біуретового комплексу. На основі багатьох експериментальних досліджень німецький вчений Е. Фішер підтвердив гіпотезу О.Я. Данилевського. Е. Фішер назвав цей зв‘язок пептидним. ***Пептидний зв‘язок*** утворюється між залишками COOH однієї амінокислоти і NH_2 другої амінокислоти. При цьому утворюються сполуки – пептиди. Схематично процес утворення дипептиду можна зобразити так:



Далі утворюється трипептид і т.д. Пептиди, які мають 10 амінокислот, називаються поліпептидами. Залежно від кількості залишків амінокислот, які беруть участь в реакції поліконденсації, утворені сполуки мають назви ди-, три-тетра- або поліпептидів. Назва пептидів утворюється із назв залишків амінокислот. В назві амінокислот, карбоксильні групи яких беруть участь в утворенні пептидного зв'язку, суфікс -н замінюється на -л. Пептидний зв'язок –основний і обов'язковий.

Водневий зв'язок утворюється між карбонільною групою (C=O) і імінною групою (NH). Водневий зв'язок слабкий. Він легко утворюється і легко руйнується при температурі 50-60^{o}C. Відіграє важливу роль в утворенні вторинної, третинної і четвертинної структур білка.

Дисульфідний зв'язок утворюється в результаті окиснення сульфідрильних груп залишків цистеїну. Це досить міцний зв‘язок. Він може утворюватись як всередині, так і між ланцюгами.

Дисульфідні зв‘язки є в інсуліні, в білках сполучної і покривної тканин та білках, які мають високу біологічну активність. Дисульфідні зв'язки мають важливе значення в формуванні третинної структури білків.

Сольовий (або йонний зв'язок) утворюється при наявності у поліпептидних ланцюгах молекул білків залишків моноамінодикарбонових і диаміномонокарбонових кислот. Вільні карбоксильні і амінні групи цих залишків амінокислот перебувають переважно в йонізованому стані, в результаті чого між ними виникає електростатична взаємодія. Цей зв'язок не дуже міцний. Йонний зв'язок відіграє важливу роль при утворенні третинної і четвертинної структури білків.

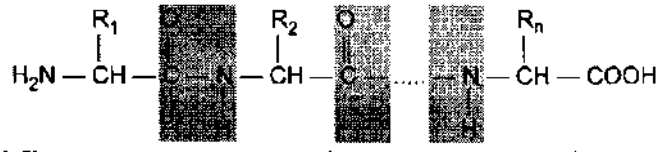
Ефірний зв‘язок утворюється між оксиамінокислотами і ортофосфорною кислотою. До оксиамінокислот належать серин, треонін, тирозин, оксипролін.

Гідрофобний зв'язок утворюється внаслідок міжмолекулярної взаємодії (сил Ван дер Ваальса) між гідрофобними (неполярними) радикалами таких амінокислот як аланін, валін, лейцин, ізолейцин, фенілаланін тощо. Гідрофобний зв'язок має важливе значення для стабілізації третинної і четвертинної структури білків.

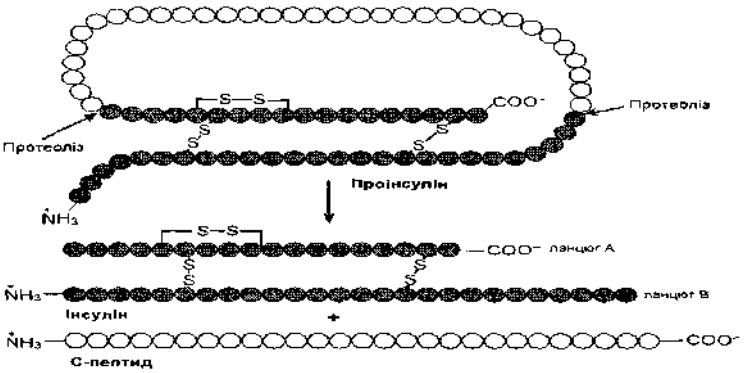
Для повного уявлення про будову білків важливе значення має дослідження послідовності розміщення залишків амінокислот у поліпептидних ланцюгах, тобто первинної структури білка. Остання визначає трьохмірну структуру поліпептидних ланцюгів, яка називається *конформацією білка.* Це термодинамічний, найбільш стійкий стан поліпептидних ланцюгів. Про білки, які мають нормальну конформацію, кажуть, що вони перебувають у нативному (природному) стані. Від конформації білкової молекули залежить її біологічна функція. Фактори, які впливають на природну конформацію білка, призводять до порушення його функції, яку виконує той чи інший білок в організмі.

Рівні структурної організації білкових молекул. Згідно з сучасними уявленнями, у білках розрізняють чотири рівні структури – первинну, вторинну, третинну і четвертинну.

Первинна структура – це певна послідовність залишків амінокислот в поліпептидних ланцюгах молекул білка. Вона специфічна для кожного білка і визначається генетичною інформацією:



Першим білком, первинна структура якого була вивчена, став інсулін – гормон підшлункової залози, якому належить головна роль в регуляції вуглеводного обміну. Первинну структуру інсуліну встановив у 1953 році англійський вчений Сенгер. За ці та інші дослідження вчений в 1962 році був удостоєний Нобелівської премії. Було встановлено, що інсулін – простий білок з молекулярною масою 6000, побудований із 16 різних амінокислот, містить 51 залишок амінокислот і складається з двох поліпептидних ланцюгів А і В. Перший з них містить 21 амінокислотний залишок, другий – 30 амінокислотних залишків). Ланцюги сполучені між собою дисульфідними містками між залишками цистеїну. Ще один такий місток утворюється всередині ланцюга А:



Первинна структура білків визначається за Сенгером, за Едманом.

За методом Сенгера білок обробляють розчином динітрофторбензолу. Білок вступає в реакцію з новими порціями динітрофторбензолу (ДФБ) доти,

поки вся молекула білка не розпадеться на амінокислоти. На основі кількісного вивчення амінокислот складають схему первинної структури білка.

За методом Едмана білок обробляють фенілізотіоціанатом. Іноді застосовують протеолітичні ферменти – пепсин, трипсин, хімотрипсин.Нині повністю розшифровано будову поліпептидних ланцюгів ферментів пепсину, хімотрипсину, альдолази, лізоциму. Відомі первинні структури інсуліну, глюкагону, міоглобіну та інших білків.

Вторинна структура – поліпептидний ланцюг білка скручується в спіраль. Це встановили в 1951 році вчені Полінг і Корі. Білкові ланцюги існують у вигляді ά-спіралі або β-структури (рис. 3.6).

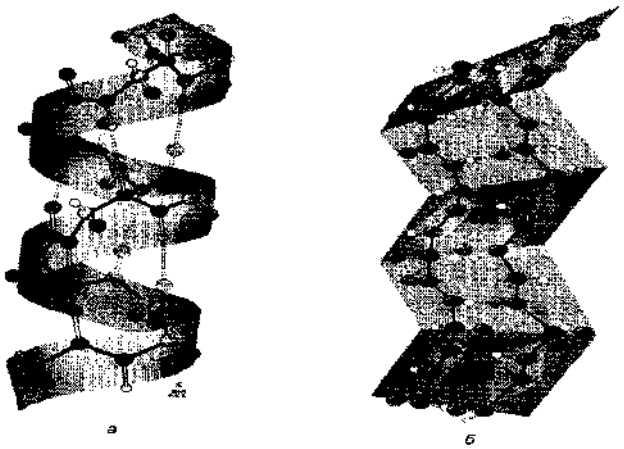


Рис. 3.6. Схема α-спіралі (а) та β-складчастого шару (б) білка. Водневі зв'язки між пептидними групами показані штриховою лінією (рисунки друкуються за Ірвінгом Гейсом)

ά-спіраль нагадує гвинтові сходи, де амінокислоти виконують функцію сходинок. На один виток ά-спіралі припадає 3,6 залишків амінокислот, а крок спіралі (відстань між витками) дорівнює 0,54 нм. Кут підйому витка дорівнює 26°, а висота одного залишку амінокислоти – 0,15 нм.

У молекулах фібрилярних білків (наприклад, фіброїн шовку) поліпептидні ланцюги майже повністю розміщені у вигляді шарів, утворюючи β-структуру. Поліпептидні ланцюги тут розміщуються паралельно.

Важлива роль в утворенні і стабілізації вторинної структури білків належить водневим і дисульфідним зв'язкам.

Третинна структура – білки вторинної будови скручуються в глобулу. Створюється об'єм і форма білкової молекули. Під час формування третинної

структури поліпептидні ланцюги укладаються так, щоб максимальна кількість гідрофільних груп залишків амінокислот була розміщена назовні, тобто повернута до водного середовища, а гідрофобні групи розміщуються всередині глобули. На конформацію утвореної глобули значний вплив мають такі фактори як pH середовища, йонна сила розчину, температура, взаємодія білкових молекул з іншими речовинами тощо.

У стабілізації третинної структури важливу роль відіграють гідрофобні, водневі, дисульфідні та йонні зв‘язки (рис. 3.7).

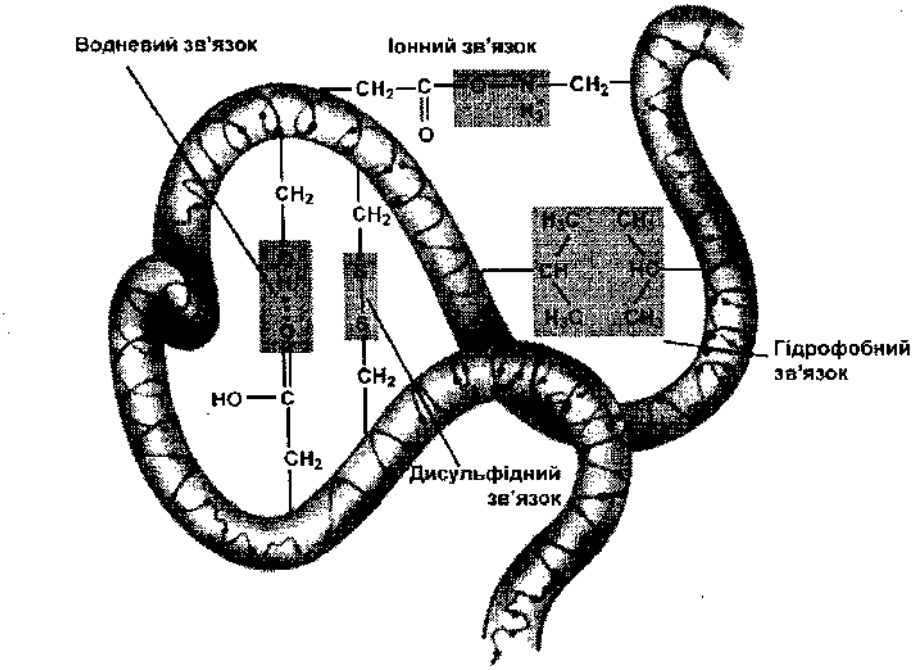


Рис. 3.7. Зв´язки, що стабілізують третинну структуру білка

У глобулі поряд опиняються групи, які в поліпептидному ланцюзі розташовані на значній відстані. Вони утворюють ділянки з просторовою і хімічною специфічністю та забезпечують виконання певних функцій молекули. Такі порівняно автономні у структурному і функціональному відношенні фрагменти третинної структури називають *доменами.* Домени виділяються при обережному розщепленні білків і зберігають характерні властивості цілого білка.

Четвертинна структура виникає в результаті асоціації кількох субодиниць в єдину комплексну молекулу (міцелу). Четвертинна структура характерна для тих білків, які складаються з двох, чотирьох і більшої, в

основному парної, кількості індивідуальних поліпептидних ланцюгів з власною третинною структурою. Субодиниці називають протомерами, а комплексну частинку – мультимером. Кількість протомерів може бути від чотирьох (у гемоглобіну) до кількох тисяч (у білка вірусу тютюнової мозаїки).

Найдетальніше четвертинна структура вивчена для міоглобіну і гемоглобіну. Встановлено, що молекула гемоглобіну побудована із чотирьох протомерів (двох ά- і двох β-поліпептидних ланцюгів). ά-ланцюги мають по 141 залишку амінокислот, β-ланцюги – по 146. Молекулярна маса гемоглобіну 68000, а кожного протомера – 17000 (рис. 3.8).

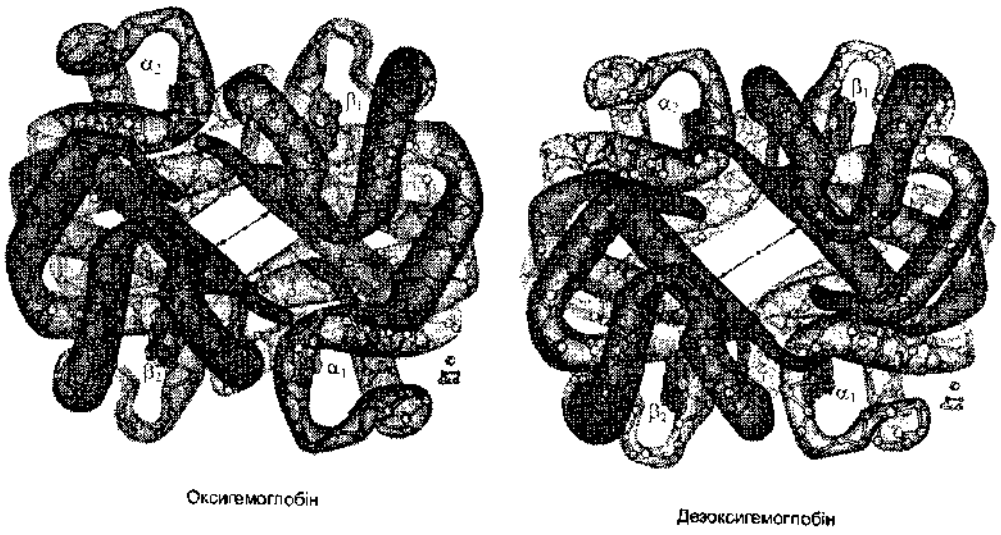


Рис. 3.8. Тривимірна структура окси- і дезоксигемоглобіну, виявлена методом рентгеноструктурного аналізу (за Ленінджером, 1985)

Четвертинна структура білків лежить в основі будови білків-ферментів і має безпосереднє відношення до існування ізоферментів.

Четвертинна структура білків стабілізується і підтримується в нативному стані в основному за участю водневих, йонних, гідрофобних зв'язків, які утворюються між різними функціональними групами, що знаходяться на поверхні протомерів. При дії на білки з четвертинною структурою різних фізичних або хімічних чинників вони можуть розпадатися (дисоціювати) на окремі протомери. Такими факторами є органічні розчинники, сечовина, концентровані розчини нейтральних солей, зміна pH середовища тощо. При їх дії на білок відбувається розрив зв'язків, які стабілізують четвертинну структуру, і молекула білка дисоціює на протомери. Для переважної більшості

білків даний процес зворотний, тобто при усуненні чинника, який викликав дисоціацію, субодиниці з'єднуються між собою і відновлюється четвертинна структура білка. У цьому процесі важливим є те, що при відновленні четвертинної структури білка відновлюється і його біологічна активність.

Формування вторинної, третинної і четвертинної структури білків відбувається у гіалоплазмі клітин.

3.6. Класифікація простих і складних білків

Відомо понад 2000 білків тваринного, рослинного і мікробного походження. За фізико-хімічними властивостями та хімічним складом білки поділяють на дві групи – прості (протеїни) і складні (протеїди). *Протеїни* – це білки, до складу яких входять лише залишки амінокислот. *Протеїди* – складні білки, молекули яких крім залишків амінокислот містять ще й інші компоненти – простетичні групи.

Прості білки (протеїни) поділяються на такі класи: альбуміни, глобуліни, гістони, протаміни, глутеліни, проламіни, протеїноїди (склеропротеїди).

Альбуміни. Дуже розповсюджені у тваринному і рослинному світі. Входять до складу цитоплазми клітин, сироватки крові, лімфи, ліквору. У вищих тварин альбуміни становлять основну частину плазми крові (>50%). Альбуміни входять також до складу продуктів харчування рослинного і тваринного походження – молока, яєць, зерна злакових і бобових культур. Молекулярна маса альбумінів 35-70 тис. Альбуміни належать до гідрофільних білків, вони добре розчиняються у воді і розчинах солей. Мають високий вміст лейцину (до 15%), а також значний вміст сірковмісних амінокислот, лізину, аспарагінової і глутамінової кислот і незначний вміст гліцину.

Альбуміни регулюють осмотичні процеси, транспортують ліпіди, регулюють вміст у плазмі крові йонів Ca^{2+}, стероїдних гормонів, триптофану, деяких лікарських препаратів (аспірину, пеніциліну), утворюючи комплекси з цими речовинами.

Глобуліни. Велика кількість їх в зерні злаків, насінні соняшника, льону, бавовнику та бобових рослин. Не розчиняються у концентрованих розчинах

нейтральних солей. Молекулярна маса – до 1,5 млн. Глобуліни містять гліцин, лейцин, валін, лізин, серин, глутамінову кислоту.

Співвідношення між альбумінами і глобулінами (альбуміново-глобуліновий коефіцієнт) в організмі людини і тварин знаходиться у визначених межах, а тому є важливою характеристикою його фізіологічного стану. Для здорового організму він становить 1,7-2,3. При хворобах зменшується.

Методом електрофорезу глобуліни діляться на фракції ά-, β- і γ-глобулінів. Найбільшу молекулярну масу мають γ-глобуліни. Вони містять більшу частину антитіл і відіграють важливу роль у процесах імунітету. Багато γ-глобулінів міститься в молозиві (15% від всіх білків).

Гістони. Мають невелику молекулярну масу (від 5000 до 37000). Мають лужний характер завдяки наявності в їх складі диаміномонокарбонових кислот (лізину, аргініну, гістидину). Основна маса гістонів входить до складу хромосом ядер клітин, утворюючи комплексну сполуку з ДНК – нуклеогістон. Гістони відіграють важливу роль у стабілізації структури ДНК, а також у процесах синтезу білків. Містяться гістони в паренхіматозних тканинах, багатих ядрами, печінці, селезінці, нирках, зобній залозі. Багаті на гістони сперма риб, лейкоцити, еритроцити.

Протаміни. Відзначаються високим вмістом диаміномонокарбонових кислот, тому розчини їх мають лужні властивості. Ці білки добре розчиняються у воді і не осаджуються при кип'ятінні. Містяться в складі нуклеопротеїдів сперми риб, є в паренхіматозних органах (печінці, селезінці, нирках) та залозах внутрішньої секреції.

Глутеліни. Є важливими кормовими і харчовими білками. Білки рослинного походження. До їх складу входить велика кількість глутамінової кислоти і лізину. Ці білки погано розчинні у воді і добре розчинні в розбавлених розчинах лугів. Молекулярна маса їх коливається в досить широких межах.

Проламіни. Рослинні білки, входять до складу насіння злакових культур. Їх представниками є гліадін (жито, пшениця), гордеїн (ячмінь), зеїн (кукурудза), авенін (овес), оризин (рис).

Проламіни погано розчиняються у воді і добре – в етиловому спирті. Назва «проламіни» була запропонована у зв'язку з тим, що до їх складу входить значна кількість проліну. Крім проліну, проламіни містять також глутамінову кислоту і незначну кількість інших амінокислот. Характерним є те, що вони зовсім не містять лізину.

Протеїноїди (склеропротеїди). Мають молекулярну масу до 10 тис. Не розчиняються в холодній воді, розчинах лугів, кислот і солей, майже не розщеплюються протеолітичними ферментами. Входять до складу тваринних тканин і виконують в основному механічну та опірну функції. Характерним є високий вміст сірковмісних амінокислот. Протеїноїди входять до складу білків волосся, рогів, хрящів, покривних тканин. Усі вони відзначаються високою міцністю і еластичністю. До протеїноїдів належать кератини, колагени, еластини, фіброїни, серицини тощо.

Кератини («керіз» – ріг) – входять до складу сполучної і покривної тканин, волосся, пір'я, рогів. Фібрилярні білки. Не розчиняються у воді, кислотах і лугах. Містять багато цистину.

Колагени – основний компонент хрящів, сухожилок, зв'язок, шкіри, кісток. При тривалому кип'ятінні гідролізуються з утворенням желатини. Містять велику кількість проліну, гліцину, оксипроліну, яких немає у складі інших білків, і зовсім не містять сірковмісних амінокислот. Використовуються у медицині для зупинки кровотеч, в харчовій промисловості, бактеріології (в якості поживного середовища).

Еластини – входять до складу еластичних тканин і виконують структурну функцію. З них побудовано внутрішні оболонки судин – артерій і вен. Містять багато гліцину, проліну, валіну і лейцину. Не розчиняються у воді навіть при кип'ятінні. Становлять білкову основу зв'язок, сухожилок.

Фіброїни, серицини – білки шовку. Виділяються гусеницями тутового і дубового шовкопрядів, залозами павуків. До складу входить чотири

амінокислоти – гліцин, аланін, серин, тирозин. Особливо високий вміст гліцину (до 44%). Ці білки досить стійкі до гідролізу. Фіброїн – високомолекулярний білок, побудований з лінійних поліпептидних ланцюгів, які розміщуються вздовж осі волокна, щільно прилягаючи одне до одного. Між ними утворюється велика кількість водневих зв‘язків. У чистому вигляді фіброїн добувають нагріванням коконів шовкопряда з розчином соди або мила. Серицин за цих умов не розчиняється . Серицин складає зовнішній шар шовкової нитки.

Протеїди (складні білки) складаються з простого білка і сполуки небілкової природи – простетичної групи (від грецьк. prosteto – приєдную, додаю).

В залежності від природи простетичної групи протеїди діляться на:

а) нуклеопротеїди – складні білки, простетичною групою яких є нуклеїнові кислоти (ДНК або РНК);

б) хромопротеїди – складні білки, молекули яких складаються з простого білка і забарвленої простетичної групи;

в) глікопротеїди – складаються з простого білка і простетичної групи, представленої вуглеводами та їх похідними;

г) ліпопротеїди – складні білки, молекули яких складаються з простого білка і ліпіду;

д) фосфопротеїди – складаються з простих білків і ортофосфорної кислоти.

Нуклеопротеїди – це складні білки, які складаються з простих білків і нуклеїнових кислот.

Вперше нуклеопротеїди були відкриті в 1868 році швейцарським вченим Ф. Мішером в клітинах гною. Тепер встановлено, що вони входять до складу усіх клітин організму.

Залежно від природи нуклеїнової кислоти нуклеопротеїди поділяють на рибонуклеопротеїди (РНП) і дезоксирибонуклеопротеїди (ДНП). Рибонуклеопротеїди містять РНК, знаходяться в основному у цитоплазмі, а дезоксирибонуклеопротеїди містять ДНК і знаходяться в ядрі клітин.

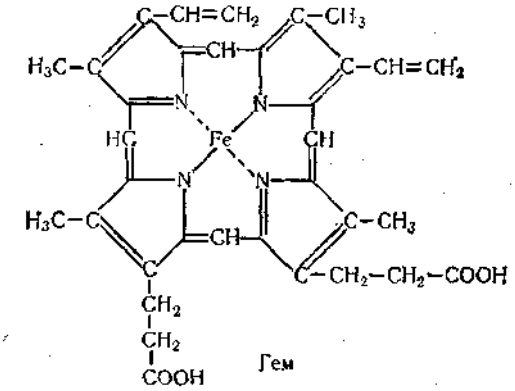
У більшості організмів білкова частина нуклеопротеїдів представлена такими простими білками, як гістони або протаміни. Проте нуклеопротеїди, виділені із рослинних тканин, бактерій і вірусів, характеризуються певним вмістом білків – альбумінів і глобулінів.

Співвідношення між білковою і небілковою частинами в нуклеопротеїдах коливається в широких межах. Вважають, що на білкову частину припадає від 30 до 50%. Нуклеїнова кислоти і білок в нуклеопротеїдах взаємно стабілізуються. Молекулярна маса нуклеопротеїдів коливається від кількох десятків тисяч до мільйонів. Розчини їх мають високу в'язкість.

Нуклеопротеїди належать до складних білків, які виконують досить важливу роль в організмі. Так, з нуклеопротеїдами пов'язані процеси росту, розвитку, розмноження, передачі спадкових ознак, біосинтезу білка тощо. Особливо важливе значення в цих процесах мають нуклеїнові кислоти.

Хромопротеїди – складні білки, які побудовані з простого білка і забарвленої простетичної групи. Простетичною групою хромопротеїдів можуть бути похідні ізоалоксазину (флавінові ферменти), каротину (родопсин), порфірину (гемоглобін, міоглобін, гемінові ферменти - каталаза, пероксидаза, цитохромоксидаза). Похідне порфірину, що містить магній, утворює пігмент рослин – хлорофіл, який забезпечує процеси фотосинтезу. Простий білок у хромопротеїдів представлений гістонами.

Гемоглобін. Досить важливий хромопротеїд в організмі людини і вищих тварин, становить приблизно 94% сухої маси еритроцитів і забезпечує дихальну функцію крові – постачання тканин організму киснем, необхідним для протікання метаболічних процесів, і видалення вуглекислого газу. Гемоглобін – один з перших білків, який був добутий у кристалічному стані у 1840 році. Молекула гемоглобіну складається з білка глобіну і забарвленої небілкової частини – гему, який містить комплексно зв‘язане залізо (Fe^{2+}), сполучене з протопорфіриновою групою:



Гем

В усіх хребетних тварин будова гему однакова. Специфічність гемоглобіну для кожного виду тварин визначається білковою частиною – глобіном. Глобін людини не містить ізолейцину. Будова гему була встановлена у 1897 р. Польським вченим М. Ненцьким, а у 1927 р. Німецький вчений Е.Фішер здійснив синтез похідного гему – гематину. Структура гемоглобіну була встановлена М.Перутцом на основі рентгеноструктурного аналізу. За дану роботу він був удостоєний Нобелівської премії.

Молекулярна маса гемоглобіну 68000. Молекула гемоглобіну складається з чотирьох субодиниць, кожна субодиниця – з гему і молекули глобіну. Молекула гемоглобіну побудована з двох симетричних половинок (молекулярна маса кожної 34000). Кожна половинка має два ланцюги: альфа і бета. Один альфа-ланцюг містить 141 залишок амінокислот, а один бета-ланцюг –146. Отже, молекула гемоглобіну складається з 574 амінокислотних залишків. У поліпептидному ланцюгу гем сполучається з глобіном через залишок амінокислоти гістидину. Гемоглобін – головний структурний і хімічний компонент еритроцитів. Він може утворювати такі сполуки:

-гемоглобін + O_2 – *оксигемоглобін*. Має високу лабільність і при зниженні парціального тиску легко розкладається на гемоглобін і кисень. Міститься в артеріальній крові;

-гемоглобін + CO – *карбоксигемоглобін.* Спорідненість гемоглобіну до CO значно вища, ніж до кисню. Оскільки зв'язок гемоглобіну з CO міцніший, ніж з киснем, і кисень не може витіснити окис вуглецю (II) з комплексу його з гемоглобіном, то порушується перенесення кисню до різних органів і тканин. Це явище спостерігається при вдиханні людиною чадного газу;

-гемоглобін + CO_2 – *карбгемоглобін*;

-гемоглобін + ОН – *метгемоглобін*. Стійка сполука, яка утворюється при отруєнні нітритами, при дії на гемоглобін деяких реагентів – хінонів, метиленової сині, ферроціанідів. При цьому двохвалентне залізо окиснюється до трьохвалентного. Збільшення в крові метгемоглобіну супроводжується зменшенням концентрації оксигемоглобіну, що теж порушує перенесення кисню до тканин організму.

Іноді спостерігається аномалія гемоглобіну, яка призводить до серповидної анемії. Причиною цього захворювання є заміна в шостому положенні первинної структури поліпептидного ланцюга субодиниці глутамінової кислоти на валін. Внаслідок такої заміни у структурі гемоглобіну різко змінюються властивості, що в першу чергу призводить до зниження його розчинності. При цьому еритроцити набувають серповидної форми і не виконують повністю своїх функцій.

Міоглобін – хромопротеїд м'язів тварин і людини. Як і гемоглобін, він приєднує кисень, отже, забезпечує м‘язи киснем. У вигляді оксиміоглобіну міоглобін створює резерв кисню в м'язах у стані спокою. Використання оксиміоглобіну спостерігається лише при фізичному навантаженні максимальної потужності, коли потреба активізації для забезпечення метаболічних процесів організму значно зростає.

Будова міоглобіну подібна до будови субодиниці гемоглобіну – він складається з білка глобіну і простетичної групи – гему; до складу міоглобіну входить лише одна молекула гему. Молекулярна маса міоглобіну становить 17000.

Велика кількість міоглобіну міститься в м'язах тварин, які живуть у воді (черепахи, кити, тюлені, пінгвіни). Створення запасу кисню має для них важливе значення, тому що забезпечується нормальне протікання метаболічних процесів в організмі при тривалому їх перебуванні під водою. У тварин, які живуть на суходолі, міоглобін зв'язує невелику кількість кисню – 10-15% від загальної кількості кисню, який потрапляє в організм і зв’язується гемоглобіном крові. Кількість кисню, яка зв'язана з міоглобіном, корелює з

тривалістю перебування тварин під водою. У тварин, які живуть у воді, з міоглобіном зв'язано від 20 до 45% кисню. Такі тварини можуть перебувати під водою кілька годин і весь цей час метаболічні процеси відбуваються за рахунок кисню міоглобіну.

Вміст міоглобіну в окремих м‘язах залежить також від їх рівня адаптації до фізичних навантажень. Чим інтенсивніше працюють м'язи, тим більше в них міоглобіну і тим інтенсивніше забарвлені вони у червоний колір. У птахів це грудні м'язи, у парнокопитних – м'язи ніг, у людини – серцевий м'яз. Міоглобіну найбільше у внутрішній частині м’язового волокна, де тиск кисню дуже малий, проте висока спорідненість його до кисню (в 5 разів більше, ніж у гемоглобіну).

Розпад міоглобіну в організмі проходить аналогічно розпаду гемоглобіну.

Крім гемоглобіну і міоглобіну в організмі тварин є також інші внутріклітинні білки, які забезпечують транспорт кисню, наприклад гемоціан молюсків і хромопротеїд молюсків (містить мідь).

Феритин-протеїди – високомолекулярні водорозчинні складні білки з молекулярною масою 400000 і вмістом заліза від 17 до 23% (в середньому 20%). Виконуючи роль депо заліза в організмі, вони міститься головним чином в селезінці, печінці, кістковому мозку. Залізо у феритині знаходиться в окисненій формі.

Меланін-протеїди – містять пігмент меланін (від грец. melas або melanos – чорний), який утворюється з тирозину. Меланін забезпечує забарвлення волосся, шкіри, райдужної оболонки ока, деяких плодів. Від кількісного співвідношення та розподілу меланіну в клітинах залежить пігментація шкіри, волосся. Припинення синтезу меланіну викликає посивіння волосся. Утворення меланіну посилюється під дією УФ проміння.

Хлорофіл-протеїди містяться в рослинних білках. Відіграють важливу роль у фотосинтезі. Містять йони Mg^{2+}, який надає хлорофілу зеленого забарвлення.

Глікопротеїди. Це складні білки, які містять у складі простетичної групи залишки вуглеводів та їх похідних. В залежності від кількісного і якісного

складу вуглеводного компоненту вони діляться на істинні, або нейтральні глікопротеїди і кислі амінополісахариди (мукопротеїди).

Нейтральні глікопротеїди містять у складі молекул незначну кількість вуглеводів (0,4-5%), переважно у вигляді аміносахаридів і їх похідних, і не містять сульфатів і гексуронових кислот. Вуглеводний компонент глікопротеїдів містить переважно оліго- і полісахариди. До складу олігосахаридів нейтральних глікопротеїдів входять переважно аміносахариди, глікозамін, галактозамін та їх похідні, а також фруктоза, галактоза, маноза. Нейтральні глікопротеїди широко розповсюджені в природі. До них належить значна частина білків сироватки крові; деякі рідини організму, білки молока, яєць і т.д. Значна кількість біологічно-активних речовин організму людини і тварин (ферменти, гормони) також має глікопротеїдну будову. Це, в першу чергу, гонадотропін, пролактин, холінестераза та інші. Причому доведено, що саме вуглеводний компонент молекул цих речовин забезпечує їх біологічну активність. Глікопротеїди виконують ряд фізіологічних функцій: транспорт різних речовин та йонів, забезпечення проникності клітинних мембран тощо.

Мукопротеїди містять в своєму складі значно більшу кількість (>5%) аміносахарів, а також залишки гексуронових кислот і сульфатів. Наявність цих речовин забезпечує кислий характер цих сполук. Мукопротеїди містяться в рідких рідинах і тканинах організму. Велика кількість їх входить до складу сполучної тканини, різних органів і слизових секретів. Значна кількість мукопротеїдів міститься також в мікроорганізмах. Особливий інтерес представляють муцини, мукоїди, трансферини, гепарин.

Муцини (від слова «mysic» – слиз). Входять до складу різних слизових секретів – слини, соку шлунку і кишок. Мають слизову консистенцію. Відіграють важливу захисну роль, послаблюючи механічне і хімічне подразнення органів травлення, захищають слизові оболонки травного каналу від дії протеолітичних ферментів. В складі слини відіграють важливу роль у формуванні харчової грудки (склеюють її). Багато муцинів міститься в сечі коня.

Мукоїди. Містяться в основній речовині сполучної тканини, синовіальній рідині суглобів, хрящів, рогівки ока. Вважають, що мукоїди відіграють важливу роль у забезпеченні нормального функціонування сполучної тканини, що значною мірою впливає на функціональний стан органів і тканин організму людини і тварин.

Трансферини – забезпечують транспорт заліза в ретикулоцити, де здійснюється синтез гемоглобіну. Входять до фракції гама-глобулінів. Виявлені у сироватці крові, молоці, яйцях. Трансферин утворює легкодисоційовані комплексні сполуки із залізом, завдяки чому і реалізується його фізіологічна функція – перетворення заліза плазми крові на депоновану форму і транспорт його в кістковий мозок та ретикулоендотеліальну систему, де він використовується в кровотворних процесах. Важливою функцією трансферину є підтримання співвідношення між йонами Fe^{2+} і Fe^{3+} в організмі. Нестача трансферину в організмі призводить до порушення обміну заліза та синтезу залізовмісних сполук.

Гепарин – (від грец. hepar – печінка). Молекулярна маса 15-20 тис. В організмі утворюється в базальних клітинах. Виділяють із печінки та легень великої рогатої худоби у вигляді натрієвої солі, добре розчинної у воді. Зв'язуючи тромбопластин, запобігає зсіданню крові.

Ліпопротеїди – складні білки, до складу простетичної групи яких входять ліпіди та їх похідні (тригліцериди, фосфатиди, холестерин тощо). Найчастіше простетичною групою є нейтральні жири – триацилгліцерини. Ліпопротеїди досить розповсюджені в тканинах рослин і тварин як складова частина цитоплазми і клітинних структур. Вони є основою біологічних мембран і різних органів клітини. Комплекси білків з ліпідами містяться також в різних рідинах організму – крові, лімфі, синовіальній рідині, а також в нервовій тканині та тканинах внутрішніх органів – нирок, легень, слизовій оболонці шлунка тощо.

Утворення комплексів білків з ліпідами – ліпопротеїдів, сприяє розчинності і стабілізації ліпідів та забезпечує їх транспорт до різних органів і тканин організму. Причому в комплексі з білками ліпіди набувають нових властивостей. Так, на відміну від ліпідів, які не розчиняються у воді і

розчиняються в органічних розчинниках, ліпопротеїди набувають здатності розчинятися у воді і втрачають здатність розчинятися в органічних розчинниках.

Методом електрофорезу ліпопротеїди діляться на альфа- і бета-ліпопротеїди. Альфа-ліпопротеїди мають молекулярну масу 200000. В електричному полі вони дуже рухливі. Молекулярна маса бета- ліпопротеїдів знаходиться в межах 1200000-1300000. Рухаються повільніше. Для забезпечення нормального обміну ліпідів і обміну речовин в організмі важливе значення мпє співвідношення між альфа- і бета-ліпопротеїдами. При нормальних фізіологічних умовах вміст альфа-ліпопротеїдів становить 2,6 г/л, а бета-ліпопротеїдів – 3,6 г/л. Порушення співвідношення між ними, зокрема підвишений вміст альфа-ліпопротеїдів, спостерігається при серцево-судинних захворюваннях – атеросклерозі, артеріальній гіпертензії тощо. Зниження вмісту бета-ліпопротеїдів має місце при цирозі печінки.

Під час взаємодії білків і ліпідів утворюються такі важливі компоненти клітин, як біологічні мембрани (цитоплазматична, мітохондріальна тощо). На частку ліпідів припадає близько 30% сухої маси мембрани. Кожен тип мембран відрізняється своїм, властивим йому, складом ліпідів.

Фосфопротеїди – це складні білки, які містять у вигляді простетичної групи залишки ортофосфорної кислоти, зв'язані з білковою частиною складноефірним зв'язком. Цей зв'язок утворюється між залишками фосфорної кислоти і гідроксильними групами оксиамінокислот – серину, треоніну, тирозину і оксипроліну. Наявність залишків фосфорної кислоти надає білкам кислотного характеру.

До фосфопротеїдів належить велика кількість білків організму, які виконують важливі функції: входять до складу тканин, які забезпечують ріст і розвиток організму, беруть участь в обмінних процесах. Велика кількість фосфопротеїдів входить до складу тканин, які є поживним середовищем для ембріонів і молодих організмів, що характеризуються високою інтенсивністю обміну речовин і швидким ростом. Це зокрема, білки яйця – овальбумін, вітелін, вітеленін, фосфовітин, білок молока – казеїн та ін.

Казеїн – найпоширеніший фосфопротеїд, що входить до складу молока і молочних продуктів. Утворюється він з казеїногену, від якого при зсіданні відщеплюється частина поліпептидного ланцюга. В чистому вигляді казеїн було виділено у 1838 році Н. Мульдером. Його молекулярна маса – 75-100 тис. Казеїн не розчиняється у воді, але добре розчиняється в сумішах розчинів солей, в осад випадає при значеннях pH, близьких до ІЕТ. Складовими цього фосфопротеїду є ά, β і γ-казеїн, які містяться у складі даного білка в співвідношенні 15 : 4 : 1. Характерною особливістю казеїну є те, що до його складу входять всі незамінні амінокислоти, які необхідні для нормального росту і розвитку організму. Особливо велика кількість в казеїні таких амінокислот, як лейцин, валін, метіонін, лізин, триптофан, ізолейцин, що вказує на високу його харчову цінність щодо забезпечення повноцінності раціону. Крім того, казеїн є важливим джерелом неорганічного фосфату, який необхідний для утворення макроергічних сполук (АТФ, креатинфосфату) та для формування кісткової тканини.

Овоальбумін – фосфопротеїд яєчного білка, становить близько 70% його маси. Молекулярна маса овоальбуміну 45000. Він добре розчиняється у воді і легко може бути отриманий у кристалічному стані. При нагріванні до 50°С і більше легко піддається денатурації і втрачає нативні властивості, які не відновлюються навіть після припинення дії денатуруючого агента.

До фосфопротеїдів належать також білки яєчного жовтка – вітелін, вітеленін, фосфовітин, які становлять 30% сухої його маси. Ці білки є важливим джерелом поживних речовин для ембріона, що розвивається. Особливо цінним є фосфовітин, до складу якого входить близько 10% фосфору.

Пепсин – основний фермент шлункового соку, який розщеплює білки до пептидів. Його молекулярна маса 34500. Виробляється пепсин головними клітинами залоз дна шлунка у вигляді неактивного пепсиногену, після відщеплення від нього пептиду перетворюється на активний фермент під впливом соляної кислоти.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Біологічне значення білків.

2. Амінокислоти, їх класифікація і будова.

3. Характеристика первинної структури білків. Утворення і властивості пептидного зв’язку.

4. Характеристика вторинної структури білків. Зв'язки, які стабілізують цей рівень організації білкових макромолекул.

5. Третинна і четвертинна структура білків. Зв’язки, які стабілізують ці рівні організації білкових макромолекул.

6. Розчинність білків. Чинники, які впливають на розчинність білків.

7. Ізоелектрична точка білків.

8. Поняття про денатурацію білків. Фактори, які зумовлюють денатурацію білкової молекули.

9. Класифікація білків за хімічною будовою.

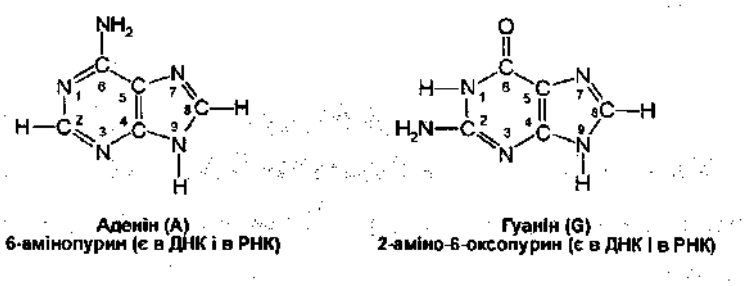
10. Класифікація протеїнів. Найважливіші представники кожного класу.

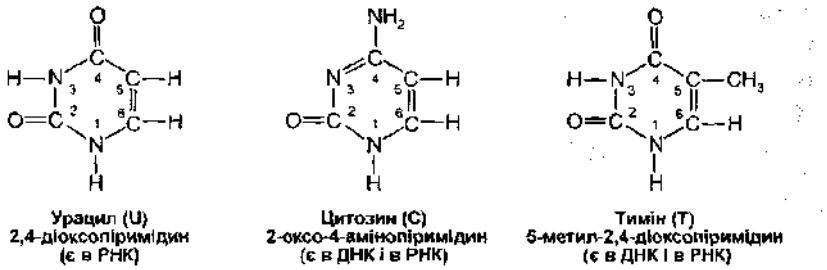
11. Класифікація протеїдів. Найважливіші представники кожного класу.

3.7. Нуклеїнові кислоти

ДНК та її характеристика. ***Нуклеїнові кислоти*** – це високомолекулярні сполуки, побудовані з великої кількості структурних одиниць – нуклеотидів. Нуклеотиди – це трьохкомпонентні сполуки, до складу яких входять:

• азотисті основи (пуринові: аденін (А), гуанін (Г) і піримідинові: цитозин (Ц), тимін (Т), урацил (У):





• вуглеводи з групи пентоз (рибоза або дезоксирибоза);

• H_3PO_4.

Сполуки, молекула яких утворена пуриновою або пірімідиновою основою і пентозою (рибозою чи дезоксирибозою), називають *нуклеозидами*.

Назва нуклеозиду визначається азотистою основою, що міститься в ньому. Так, нуклеозид, який має в складі молекули аденін, називають:

• А + пентоза – аденозин;

• Г + пентоза – гуанозин;

• Ц + пентоза – цитидин;

• У + пентоза – уридин;

• Т + пентоза – тимідин.

Назва нуклеотидів походить від назви основ, що входять до їх складу, або від назви нуклеозиду. Так, якщо нуклеозид містить азотисту основу аденін, то він називається аденіловою кислотою; гуанін – гуніловою кислотою; урацил – уридиловою кислотою; цитозин – цитидиловою кислотою; тимін – тимідиловою кислотою (нуклеотиди, що містять рибозу).

Аналогічний принцип назв властивий і для нуклеотидів, які замість рибози містять дезоксирибозу. Відмінність полягає тільки в тому, що до назви нуклеотиду додається префікс дезокси-, наприклад, дезоксиаденілова кислота тощо.

ДНК є основним генетичним матеріалом живих систем. В організмах, за винятком вірусів і бактерій, вона сконцентрована в ядрах клітин. Невелика кількість ДНК міститься в мітохондріях, хлоропластах. Характерною ознакою ДНК є її висока молекулярна маса. Участок молекули ДНК, в якому записана інформація про первинну структуру білкової молекули, називається *геном.* При гідролізі ДНК утворюється чотири види нуклеотидів:

• А + дезоксирибоза + фосфорна кислота – дезоксиаденілова кислота;

• Г + дезоксирибоза + фосфорна кислота – дезоксигуанілова кислота;

• Ц + дезоксирибоза + фосфорна кислота – дезоксицитидилова кислота;

• Т + дезоксирибоза + фосфорна кислота – дезокситимідилова кислота.

До складу нуклеотидів входять пуринові азотисті основи (А і Г) та піримідинові азотисті основи (Ц і Т).

В 1952 р. вчений Е. Чаргафф вивів ряд правил щодо нуклеотидного складу ДНК (їх називають правила Чаргаффа). Суть їх така:

• сума пуринових основ дорівнює сумі піримідинових основ (А + Г = Ц + Т);

• молярний вміст аденіну (А) дорівнює молярному вмісту тиміну (Т): (А = Т, або А/Т = 1);

• молярний вміст гуаніну (Г) дорівнює молярному вмісту цитозину (Г = Ц, або Г/Ц =1);

• кількість аміногруп у пуринових і піримідинових основах ДНК дорівнює кількості кетогруп – 6.

В 1953 році вчені Д.Уотсон і Ф.Крік (Кембріджський університет) запропонували модель структури ДНК (рис. 3.9). Вони встановили, що молекула ДНК – це подвійна спіраль полінуклеотидних ланцюгів, закручених навколо однієї осі. Вони обернені один до одного азотистими основами, а ззовні розміщені залишки дезоксирибози і фосфорної кислоти. Аденін сполучений водневими зв‘язками з тиміном, гуанін – з цитозином, причому між аденіном і тиміном є два, між гуаніном і цитозином – три водневих зв'язки. Кожен виток спіралі має 10 пар нуклеотидів, міжнуклеотидні відстані становлять 0,34 нм, один виток (крок) спіралі – 3,4 нм. В окремих бактеріофагів знайдена односпіральна молекула ДНК. Одноланцюгові ДНК виявлено у вірусу поліомієліту, дрібному вірусі мишей.

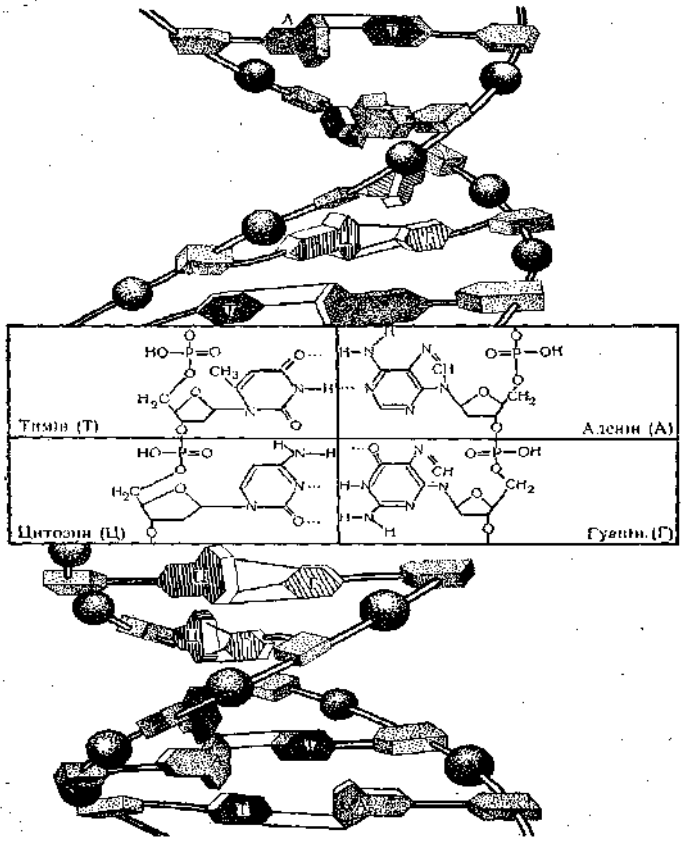


Рис. 3.9. Схема будови молекули ДНК (за Ф.Кріком і Д.Уотсоном)

Рибонуклеїнові кислоти (РНК). РНК виявлені майже в усіх клітинних фракціях. Найбільша кількість РНК зосереджена в рибосомах. Тут вміст РНК в окремих випадках досягає майже 80% загальної кількості. Основна маса РНК міститься в цитоплазмі і лише 10-20% – в ядрі. У всіх клітинах наявні різні види РНК (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Структурна різноманітність рибонуклеїнових кислот

Тип РНК / Показник	Транспортна (тРНК)	Рибосомальна (рРНК)	Матрична (мРНК)	Мала ядерна (мяРНК)
Функція	Трансляція	Трансляція	Трансляція	Сплайсинг
Час життя	Тривалий	Тривалий	Короткий	Тривалий
Вміст у клітині, %	10–20	80	5	< 1
Кількість нуклеотидів	74–95	120–5 000	400–6 000	100–300
Кількість підтипів у клітині	> 50	4	> 1 000	~ 10

При гідролізі РНК дає такі нуклеотиди:

• А + рибоза + фосфорна кислота – аденілова кислота;

• Г + рибоза + фосфорна кислота – гуанілова кислота;

• Ц + рибоза + фосфорна кислота – цитидилова кислота;

• У + рибоза + фосфорна кислота – уридилова кислота.

Нуклеотид, що складається з аденіну, рибози і трьох залишків фосфорної кислоти, називається аденозинтрифосфорна кислота (АТФ). Це макроергічна сполука, яка синтезується в мітохондріях:

А - рибоза - Р ~ Р ~ Р

Молекула РНК – це односпіральний нуклеотидний ланцюг, який в деяких ділянках може бути двоспіральним з утворенням водневих зв‘язків між комплементарними основами (А-У, Г-Ц). До складу РНК з азотистих основ замість тиміну входить урацил. РНК більшості вірусів двоспіральна. На відміну від молекули ДНК, яка має досить жорстку конфігурацію, молекула РНК може змінювати форму і конфігурацію залежно від pH, температури, інших факторів зовнішнього середовища.

Рибонуклеїнові кислоти залежно від їх функцій, молекулярної маси і локалізації в клітині поділяють на такі основні групи:

Інформаційна РНК (іРНК), або матрична РНК (мРНК) – становить близько 5% всієї клітинної РНК. Її молекулярна маса коливається від 300 тис до 4 млн. Кожна молекула іРНК під час синтезу в ядрі отримує інформацію від ДНК у формі скопійованої послідовності азотистих основ і переносить її на рибосоми, де вона реалізується при біосинтезі білка. Кожний білок, який синтезується в клітині, кодується специфічною мРНК або специфічною ділянкою мРНК. Має будову ланцюга, подібну за структурою до ДНК (відмінність полягає в тому, що замість азотистої основи Т в молекулу РНК включається У, замість дезоксирибози – рибоза).

Транспортна РНК (тРНК), або як їх раніше називали розчинні РНК (sРНК) (символ «s» від слова «soluble» – розчинний, англ.), становить 10-15% всієї РНК клітини. Вони локалізовані в основному в гіалоплазмі клітини, ядерному соку і в безструктурній частині мітохондрій та хлоропластів. Характерною ознакою тРНК є їх невелика молекулярна маса – 20-35 тис. Основна функція тРНК – кодування і перенесення активованих амінокислот до

місця синтезу білку – до рибосом. Кожна із 20 амінокислот має свою тРНК (не менше однієї). Молекули тРНК мають форму листка конюшини (рис. 3.10).

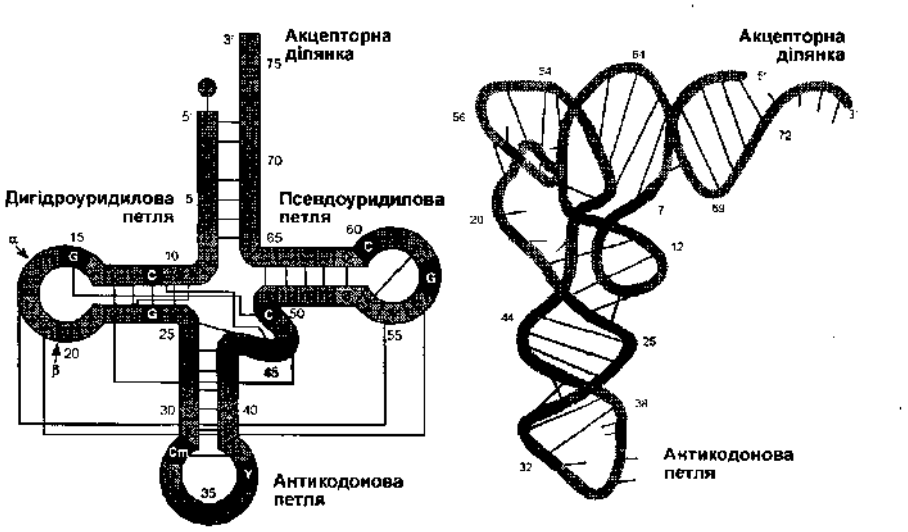


Рис. 3.10. Транспортна РНК (тРНК)

На одному кінці молекули розміщений тринуклеотидний залишок, який сполучається з відповідною амінокислотою. У такому вигляді активована амінокислота переноситься на поверхню рибосоми, де і включається в молекулу білка, який синтезується. У молекулі тРНК є ділянка, з допомогою якої вона приєднується до рибосом – антикодон (триплет нуклеотидів).

Рибосомальна РНК (рРНК), або структурна РНК – становить основу рибосом, де міцно зв‘язана з білком (рибосома на 25% складається з білку і на 75% – з РНК). Для рРНК характерна висока молекулярна маса – від 500 тис до 2 млн. Майже вся РНК перебуває у вигляді магнієвої солі. Після видалення йонів магнію рибосома дисоціює на дві субодиниці – велику і малу. Кожна субодиниця має одну молекулу РНК (велика субодиниця складається з 2500-4000, мала – з 1500-2000 нуклеотидних залишків).

Питання для контролю і самоперевірки

1. Нуклеотиди, їх склад.
2. Будова та функції ДНК.
3. Нуклеотиди, які входять до складу ДНК.
4. Види РНК, їх характеристика.
5. Нуклеотиди, які входять до складу РНК.

3.8. Вітаміни

Загальна характеристика вітамінів. ***Вітаміни*** (лат. vita – життя) – група низькомолекулярних органічних біологічно активних речовин різної хімічної природи, які синтезуються переважно в рослинних організмах і мікроорганізмах і тільки окремі – тваринами в невеликих кількостях. Вітаміни відіграють надзвичайно важливу роль в біокаталізі, а тому хоч і в невеликих кількостях потрібні для забезпечення нормальної життєдіяльності людини і тварин.

Ще у 80-х роках XIXст. російський вчений, лікар М. І. Лунін встановив, що для нормальної життєдіяльності організму, крім основних поживних речовин – білків, жирів, вуглеводів, мінеральних солей, – потрібні ще якісь невідомі на той час речовини.

Вчений проводив експерименти на двох групах мишей. Тварини першої групи одержували штучний раціон, який складався з води, казеїну, лактози, жиру, солі; тварини другої групи споживали лише молоко. Через 20-30 діб тварини першої групи почали гинути. Спостереження М.І.Луніна підтвердили російські вчені К. Сосін, М. Савельєв, В. Пашутін, голандський вчений Х. Ейкман.

Х. Ейкман працював у госпіталі у в‘язниці на о. Ява. В 1896 році він встановив, що захворювання центральної нервової системи (хворобу «бері-бері») можна усунути, якщо хворим добавляти в їжу неочищений рис. В 1906 році Ф. Гопкінс назвав речовини, які запобігають подібним захворюванням, додатковими харчовими факторами.

У 1912 році польськй вчений К. Функ виділив із рисових висівок у кристалічному стані речовину, яка в мінімальній дозі запобігала розвитку поліневриту у піддослідних тварин. При визначенні хімічної природи цієї речовини виявилось, що вона містить у своєму складі аміногрупу. Враховуючи велике значення цієї речовини для життя, а також наявність у ній аміногрупи, Функ назвав її вітаміном (vita – життя, життєвий амін). Відомо багато вітамінів, що не містять у своєму складі аміногрупи, але назва цієї групи речовин залишилася.

Під терміном «вітаміни» об‘єднано групу речовин різноманітної хімічної природи, які мають певні характерні особливості і щодо людини є переважно екзогенними факторами. Ендогенний синтез деяких з них здійснюється мікрофлорою тонких кишок. Проте такий синтез не може повністю задовольнити потребу організму у вітамінах, тому потрібне постійне надходження їх з продуктами харчування. Людина і тварини отримують вітаміни з рослинною їжею або через продукти тваринного походження. У жуйних потреба у вітамінах задовольняється за рахунок їх синтезу мікроорганізмами. Тварини-копрофаги (наприклад, кролі) компенсують нестачу вітамінів поїданням власного калу, у якому містяться вітаміни, що синтезуються мікроорганізмами товстого кишечника.

При недостатньому надходженні вітамінів з продуктами харчування розвиваються захворювання – *гіповітамінози.* Відсутність вітамінів у раціоні або порушення процесів їх засвоєння призводить до *авітамінозів.* Розрізняють первинні (екзогенні) і вторинні (ендогенні) авітамінози.

Причиною екзогенних авітамінозів є недостатнє надходження до організму вітамінів з продуктами харчування, а також незбалансованість раціону людини і тварин. Ендогенні авітамінози виникають внаслідок порушення обміну речовин при різних захворюваннях. При цьому, не дивлячись на достатньє надходження в організм вітаміни не засвоюються. Найчастіше причиною авітамінозів є несприятлива дія одночасно декількох факторів як ендогенного, так і екзогенного характеру.

Надмірне надходження вітамінів також негативно впливає на метаболічні процеси в організмі – *гіпервітаміноз*. Гіпо- і авітамінози можуть спостерігатися при наявності в кормах антивітамінів – структурних аналогів вітамінів, які витісняють вітаміни з відповідних реакцій обміну речовин і не здатні виконувати їхні функції.

Вітаміни руйнуються в умовах дії на них таких зовнішніх факторів як висока температура, іонізуюче випромінювання, зміна pH середовища, дія кислот і лугів. Вплив на вітаміни цих та інших факторів слід враховувати при зберіганні і переробці плодів і овочів.

На ефективність засвоєння вітамінів в організмі людини стан шлунково-кишкового тракту. При запальних процесах органів травлення засвоєння вітамінів порушується. Жиророзчинні вітаміни засвоюються при наявності жиру. Засвоєння вітамінів залежить і від вживання антибіотиків і сульфаніламідних препаратів, які спричиняють загибель шлункової мікрофлори, а також від співвідношення окремих вітамінів в харчовому раціоні.

Дослідження вітамінів проводять з використанням біологічних і фізико-хімічних методів (кольорові реакції). З допомогою біологічних методів досліджують певні штамми, які можуть синтезувати той чи інший вітамін; фізико-хімічними методами вивчають структуру і властивості окремих вітамінів.

Сьогодні науці відомо понад 30 вітамінів і вітаміноподібних речовин, серед яких близько 20 використовуються для лікування і профілактики різних захворювань. Раніше вітаміни позначали буквами латинського алфавіту (А, В, С, Д), називали за біологічною дією. У міру розшифровки структури молекул вітамінів їм почали давати хімічні назви – тіамін, нікотинамід тощо. Вчення про вітаміни отримало назву *вітамінологія*.

Людина має потребу в 16-18 вітамінах. Основним джерелом вітамінів є рослини. В них синтезуються або самі вітаміни, або провітаміни, які в організмі людини здатні перетворюватись у вітаміни.

Найбільше вітамінів міститься в свіжих фруктах, овочах, у м’ясі, молоці. Наявність вітамінів в харчових продуктах тваринного походження обумовлена тим, що вітаміни, які надходять в організм з рослинними продуктами, можуть нагромаджуватись про запас в печінці, серці, нирках та інших органах. Вітаміни К, B_6 і деякі інші синтезуються мікроорганізмами кишечнику і всмоктуються в кров, а тому навіть їх відсутність у харчовому раціоні не призводить до гіповітамінозних наслідків.

На сьогоднішній день існує кілька класифікацій вітамінів. Хімічна класифікація вітамінів побудована на характері будови молекул: вітаміни аліфатичного ряду, вітаміни ациклічного ряду, вітаміни ароматичного ряду, вітаміни гетероциклічного ряду.

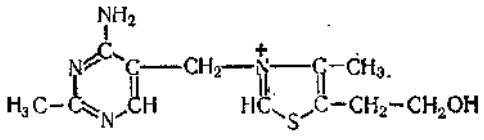
За ознакою розчинності в жирах або воді вітаміни поділяють на дві групи: жиро- і водорозчинні. Ця класифікація сьогодні є загальновизнаною. Крім вітамінів, виділяють групу вітаміноподібних сполук.

В 1956 році введено нову номенклатуру вітамінів, згідно з якою кількість вітамінів визначають в І0 (інтернаціональних одиницях) – в мг, в мкг.

Водорозчинні вітаміни. Усі вони добре розчиняються у воді, нерозчинні в жирах і багатьох органічних розчинниках. Термолабільні сполуки, нестійкі проти зміни pH, не депонуються в тканинах. Більшість з них – складові частини ферментів і безпосередні учасники більшості реакцій обміну речовин у всіх живих організмах.

Вітамін B_1 (тіамін, антиполіневритний). Це один з перших вітамінів, відкритих наукою. Відкриття вітаміну B_1 і дослідження його властивостей поклало початок даній галузі науки. У кристалічному стані він був виділений в 1931 році з дріжджів. У 1936 році було встановлено його будову. Вивчення вітаміну B_1 пов'язане в виявленням захворювання «бері-бері», яке було поширене в країнах Південно-Східної Азії.

Назву «тіамін» дана речовина дістала у зв‘язку з наявністю в її складі сірки і аміногрупи:



Хімічно чистий препарат вітаміну B_1 являє собою безбарвні кристали із запахом дріжджів, добре розчинні у воді (в 1мл води розчиняється 1г вітаміну) і погано розчинні в жирових розчинниках. Вітамін B_1 стійкий проти дії різних факторів зовнішнього середовища – світла, кисню, повітря. Стійкий в кислому середовищі і швидко руйнується в лужному, особливо при високій температурі.

Тіамін в організмі перебуває як у вільному, так і в зв'язаному стані, проте високу біологічну активність має лише його фосфорний ефір – тіамінпірофосфат. Він нагромаджується в м'язах, печінці, нирках, мозку, але в організмі не депонується. Вітамін B_1 є похідною тіазолу і піримідину. Він бере активну участь в обміні білків, жирів, вуглеводів, в процесах синтезу

нуклеїнових кислот, в проведенні нервового збудження по збудливих клітинах, в діяльності ЦНС і його вищого відділу – кори великих півкуль.

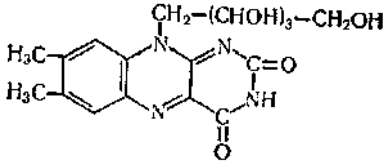
Біологічна дія вітаміну B_1 полягає в тому, що він входить до складу ферментів декарбоксилаз кетокислот (зокрема, піровиноградної кислоти). У формі тіамінпірофосфату (кокарбоксилази) вітамін B_1 виконує функцію коферменту в процесах декарбоксилування кетокислот (піровиноградної та ін.). При B_1-авітамінозі розвивається важке захворювання – поліневрит (бері-бері), характерними симптомами якого є ураження функції нервової системи і рухового апарату (некоординованість рухів, параліч), а також порушення вуглеводного обміну (підвищення вмісту піровиноградної кислоти в крові). Ознаками гіповітамінозу є швидка втомлюваність, дратівливість, втрата апетиту.

Препарат вітаміну B_1 (кокарбоксилаза) застосовується для ін‘єкцій при лікуванні серцево-судинних захворювань, невралгії, порушень обміну речовин.

Добова потреба дорослої людини у вітаміні B_1 – 2-3 мг (дітям – до 2 мг, спортсменам – до 5 мг). Оскільки даний вітамін в організмі не депонується, необхідно забезпечити його постійне надходження з їжею. Найбільш багаті вітаміном B_1 пивні дріжджі, неочищений рис або рисові висівки, чорний хліб, вівсяна крупа, бобові і зернові культури,печінка, яєчний жовток.

Вітамін B_1 має антивітаміни. Вони можуть входити до складу ферментів декарбоксилаз, витісняти з них тіамін, і таким чином пригнічувати дію ферментів. До них належать окситіамін і піритіамін.

Вітамін B_2 (рибофлавін, вітамін росту). Вітамін B_2 вперше був виділений Куном із сироватки молока і яєць. Його назвали відповідно лактофлавін і овофлавін (flawos – жовтий). Пізніше було встановлено, що вітамін B_2 є похідним ізоалоксазину і спирту рибітолу.



Вітамін B_2 – помаранчево-жовта кристалічна речовина, гіркувата на смак, розчинна у воді, нерозчинна в органічних розчинниках. Водні розчини вітаміну B_2 мають здатність до флуоресценції в УФ-променях. Рибофлавін досить стійкий до нагрівання в кислому середовищі і швидко

руйнується в лужному під впливом тривалого освітлення. За звичайних умов при кулінарній обробці їжі та зберіганні харчових продуктів втрачається 15-20% рибофлавіну.

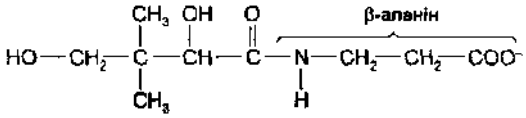
В основі біологічної дії вітаміну B_2 лежить його участь в процесах біологічного окиснення. Він входить до складу дихальних ферментів – флавінових ферментів (жовті дихальні ферменти). При нестачі рибофлавіну в організмі зменшуєтья кількість флавінових ферментів, внаслідок чого порушуються процеси окиснення різних субстратів і вивільнення енергії, необхідної для забезпечення різноманітних метаболічних процесів, процесів росту і розвитку організму.

Перша ознака гіповітамінозу B_2 – затримка росту, зменшення приросту маси. Іншими симптомами недостачі вітаміну B_2 є характерні ураження слизових оболонок губ, ротової порожнини, внутрішніх органов. Спостерігається дерматит, порушується нормальне відтворення клітин кишкового епітелію, що призводить до шлункових кровотеч, колітів, шлунково-кишкових розладів. Знижується загальна стійкість організму проти інфекцій, сповільнюються процеси регенерації. Характерними є ураження органів зору – сльозотеча, кон'юктивіт, світлобоязнь, згодом може розвиватись кератит, васкуляризація і помутніння рогової оболонки ока. Спостерігаються також зміни з боку нервової системи (апатія, головний біль), погіршується апетит, спостерігається схуднення, знижується працездатність, особливо до розумової праці.

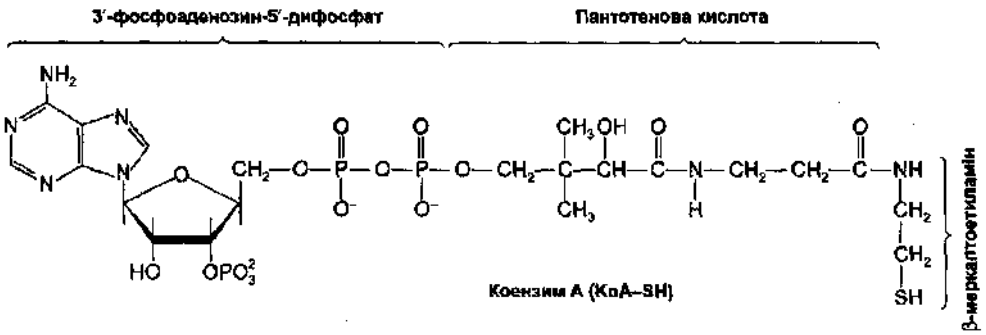
Велика кількість рибофлавіну в пивних дріжджах, томатах, капусті, зерні злаків, печінці, рибних продуктах, яєчному жовтку, молочних продуктах.

Вітамін B_3 (пантотенова кислота, від грецького pantoten – скрізь, всюди). Відкриття вітаміну B_3 пов'язане з дослідженням фактора, що стимулював ріст дріжджів та запобігав виникненню дерматитів у тварин. У 1938 році вітамін B_3 було виділено з багатьох рослинних і тваринних джерел (зокрема, з рисових висівок і тканин печінки). Вітамін B_3 – в'язка олііста речовина світло-жовтого кольору, добре розчинна у воді, нерозчинна в жирових розчинниках, оптично активна, нестійка проти дії температури, кислот, лугів. За хімічною будовою є

сполукою 2,4-діокси-3,3-диметилбутанової кислоти й аланіну, утвореною за допомогою амідного зв'язку.



В організмі пантотенова кислота може бути як у вільному, так і в зв'язаному стані. В обміні речовин більше значення мають зв'язані форми пантотенової кислоти. Вітамін B_3 переважно зв'язаний з білками і входить до складу КоА:



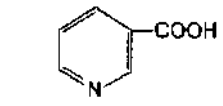
У складі коензиму А пантотенова кислота входить до складу ферментів, які каталізують реакції ацетилування і переацетилування, синтез і розпад жирів, реакції трикарбонового циклу, синтез стероїдів, гемоглобіну, ацетил-холіну.

Ацетил-КоА (активна оцтова кислота) є основним «паливом» циклу трикарбонових кислот, використовується для синтезу окремих амінокислот, холіну, гістаміну. Пантотенова кислота бере участь в обміні ПВК, поліпшує засвоєння глюкози, каталізує синтез пептидів і білків.

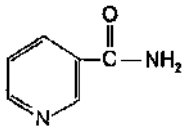
При гіповітамінозі вітаміну B_3 спостерігаються слабкість, швидка стомлюваність, дерматити, схильність до інфекційних захворювань. Пантотенову кислоту використовують для лікування дерматитів, екзем, токсикозів, опіків, при захворюваннях центральної нервової системи, ентероколітах, хворобах дихальних шляхів (бронхіту, бронхіальної астми), а також для запобігання побічних явищ (погіршення зору і слуху).

Вітамін B_3 міститься в клітинах рослинних і тваринних організмів, зокрема в печінці, яйцях, молоці, зернових, овочах і фруктах особливо багато пантотенової кислоти в грецьких горіхах. Добова потреба вітаміну B_3 для людини – 7-10 мг.

Вітамін B_5 або PP (нікотинова кислота, нікотинамід, антипеларгічний). Відкриття цього вітаміну пов‘язане з дослідженням природи такого захворювання, як пелагра (італ. pelle agra – шорстка шкіра). Вітамін B_5 представлений двома сполуками – нікотиновою кислотою та її амідом.



Нікотинова кислота



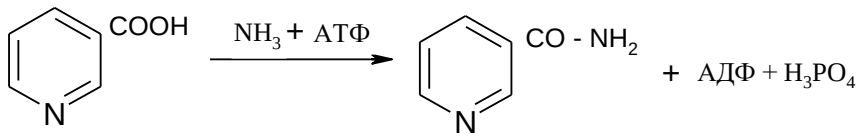
Нікотинамід

Вперше нікотинову кислоту було добуто Губером ще в 1867 році окисненням нікотину. Довгий час її вітамінні властивості були невідомі. Лише в 1937 році з екстрактів печінки було виділено речовину, яка виліковувала «чорний язик» – захворювання собак, ідентичне пелагрі у людини. Ця речовини дістала назву протипеларгічного фактора. Потім було встановлено, що даний фактор ідентичний нікотиновій кислоті і її аміду.

Нікотинова кислота і її амід – безбарвні кристалічні речовини, слабокислі на смак, без запаху, добре розчинні у воді (1 г в 100 мл), стійкі проти дії високих температур.

Поза організмом нікотинова кислота може утворюватись при окисненні нікотину. В організмі людини і тварин відсутні ферментні системи, які б забезпечували дане перетворення. В живих організмах джерелом утворення нікотинової кислоти є амінокислота триптофан. Незначна частина нікотинової кислоти синтезується мікрофлорою кишок. Нікотинова кислота, що потрапляє в організм з продуктами харчування, в печінці і інших органах перетворюється в нікотинамід.

Нікотинова кислота в організмі легко перетворюється в її амід, процес її амідування здійснюється за участю енергії АТФ.



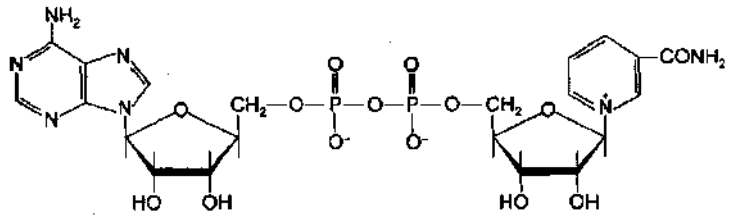
При недостатньому надходженні в організм вітаміну B_5 або при білковому голодуванні виникає пелагра. Для неї характерні три групи симптомів –

дерматит, діарея і деменція. У зв‘язку з цим вона дістала назву хвороби «трьох Д».

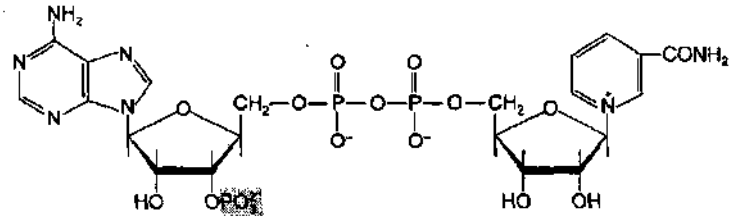
Дерматит проявляється в тому, що шкіра на відкритих ділянках тіла червоніє, стає шорсткою, покривається міхурцями, які лопаються, утворюючи виразки, темно-коричневі плями. Діарея – порушення функцій органів травлення: запалення слизових оболонок ротової порожнини, язик стає червоним, блискучим, з'являються тріщини. В процесі травлення зменшується вміст соляної кислоти в шлунку, виникають проноси, нудота, і, як наслідок, значне виснаження організму.

Третя група симптомів пелагри, яка виникає в особливо важких випадках, – розлад діяльності нервової системи, втрата пам'яті, марення, недоумство (деменція). Пелагра може протікати в хронічній формі упродовж кількох років. Загострення хвороби найчастіше спостерігається в кінці зими або на початку весни і затухає влітку і восени.

Нікотинамід входить до складу багатьох окисно-відновних ферментів – дегідрогеназ у вигляді НАД (нікотинамідаденіндинуклеотиду) і НАДФ (нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату):



НАД⁺ (нікотинамідаденіндинуклеотид)



НАДФ⁺ (нікотинамідаденіндинуклеотиддфосфат)

Крім коферментної ролі вітамін B_5 відіграє важливу роль у вуглеводному обміні. Під його впливом активується дія інсуліну, що сприяє нагромадженню глікогену в печінці, поліпшується використання глюкози в організмі. При нестачі нікотинаміду на фоні зниження загальної кількості білків зменшується

вміст альбумінів з одночасним підвищенням глобулінових фракцій. Загальновідомою є нормалізуюча дія вітаміну B_5 щодо вмісту холестерину, водно-мінерального обміну, функціонування нервової і серцево-судинної систем.

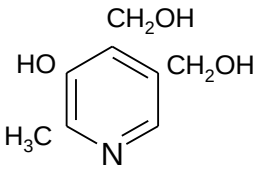
Вітамін B_5 міститься в печінці, нирках, м'ясних продуктах, молоці і молочних продуктах, зернобобових культурах. Особливо багато його у пшеничних висівках і дріжджах, рибному і м'ясо-кістковому борошні, сіні конюшини і люцерни. Норма нікотинаміду для дорослої людини – 15-25 мг, для дітей – 5-15 мг.

Нікотинамід застосовується для лікування пелагри, гепатитів, нефритів, а також для лікування шизофреній.

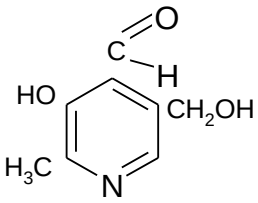
Вітамін B_6 (піридоксин, антидерматитний). У 1936 році з дріжджових екстрактів і рисових висівок було виділено речовину, що запобігала виникненню дерматитів у пацюків. ЇЇ було названо спочатку антидерматитним фактором, а згодом – вітаміном B_6. У кристалічному вигляді піридоксин добуто в 1938 році, а через рік було вивчено його хімічну будову.

Назва піридоксин об'єднує групу близьких за складом і властивостями речовин – піридоксол (піридоксин), піридоксаль, піридоксамін, які є похідними піридину.

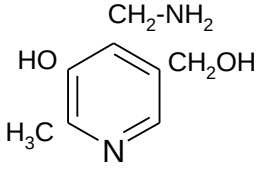
Піридоксол розглядають як провітамін вітаміну B_6, бо вітамінні властивості він виявляє лише після перетворення в піридоксаль і піридоксамін:



Піридоксол



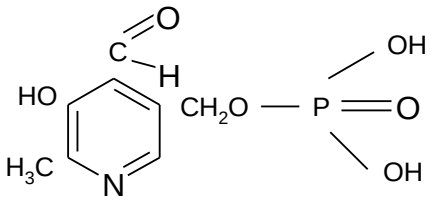
Піридоксаль



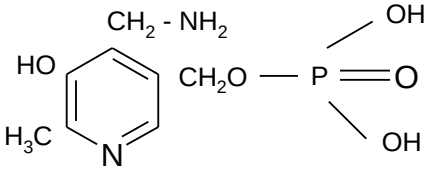
Піридоксиамін

У чистому вигляді ці сполуки – безбарвні кристалічні речовини, гіркі на смак, добре розчинні у воді і спирті. Вітамін B_6 стійкий до нагрівання в кислому і лужному середовищах, проте швидко руйнується на світлі при дії УФ-променів.

Піридоксин в організмі може перебувати у вільній і зв'язаній формах. Зв'язану форму вітаміну B_6 було відкрито в 1951 році. Це піридоксальфосфат і піридоксамінфосфат. Біологічну дію в організмі виявляють саме зв‘язані форми вітаміну B_6:



Піридоксальфосфат



Піридоксамінфосфат

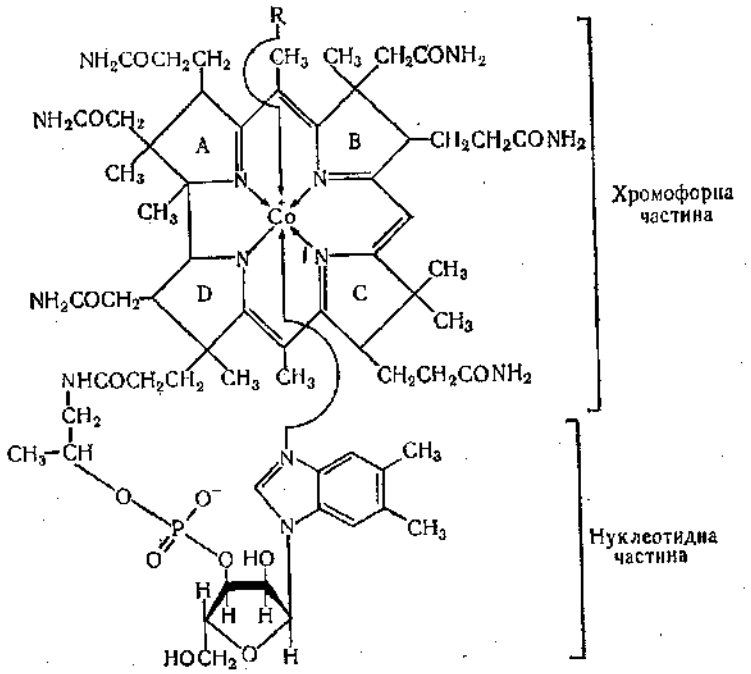
При нестачі вітаміну B_6 дерматит з самими різними проявами розвивається поступово – спочатку спостерігається підвищена збудливість, м'язова слабкість, млявість, згодом з'являються себореєподібні зміни різних ділянок шкіри навколо очей та носа, на вухах і кінцівках – акроденія, або симетричний дерматит. Тривала відсутність вітаміну B_6 в організмі призводить до дегенеративних змін в різних органах, припиняється ріст, виникають порушення з боку центральної нервової системи, які проявляються епілептичними судомами. У тварин при нестачі піридоксину виникає лизуха (тварина лиже будь-які предмети), порушуються захисні функції організму, у птиці випадає пір‘я навколо очей, дзьоба, опухають ноги.

Вітамін B_6 у вигляді фосфорних ефірів (в основному піридоксальфосфату) входить до складу ферментів декарбоксилаз амінокислот і амінотрансфераз. Піридоксальфосфат бере участь у синтезі порфіринів, які входять до міоглобіну, гемоглобіну, цитохромів, каталази, пероксидази. Порушення синтезу вітаміну B_6 негативно впливає на вміст окремих білкових фракцій в сироватці крові – значно знижуються фракції глобулінів, які пов‘язані з виробленням антитіл, в результаті чого послаблюються захисні (бар'єрні) функції організму. Піридоксальфосфат сприяє нормалізації вуглеводного обміну, стимулює синтез жирів в організмі, позитивно впливає на діяльність ендокринної системи.

Вітамін B_6 міститься в продуктах рослинного і тваринного походження. Багато його у пшеничних висівках, дріжджах, печінці, м'язах, соняшниковому шроті. Деяка кількість піридоксину синтезується мікрофлорою травного каналу.

Добова потреба вітаміну B_6 для людини 2-4 мг; лікувальна доза 10-100 мг.

Вітамін B_{12} (ціанкобаламін, антианемічний). Відкриття вітаміну B_{12} пов'язане з вивченням злоякісної анемії (хвороба Адісона). Вітамін B_{12} – досить складна органічна сполука. Це єдиний металовмісний вітамін, до складу якого входить кобальт. Молекула вітаміну B_{12} складається з двох частин: хромофорної і нуклеотидної. В центрі хромофорної частини знаходиться атом кобальту, є чотири пірольних кільця, які сполучені між собою звичайним зв'язком і координаційним зв'язком – з кобальтом. Нуклеотидна частина складається з 5,6-диметилбензімідазолу, залишку рибози та фосфорної кислоти. Вона сполучена ковалентно з хромофорною частиною і координаційно – з атомом кобальту:



Вітамін B_{12} – голчасті кристали рубіново-червоного кольору, без запаху і смаку. Добре розчинні у воді і спирті, нерозчинні в бензолі, ефірі, хлороформі. В сухому вигляді вітамін B_{12} стійкий до дії зовнішніх факторів, витримує

автоклавування при 120°С. Добре зберігається в темному сухому місці. На світлі швидко втрачає біологічну активність.

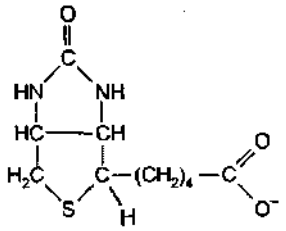
Ціанкобаламін бере участь в багатьох метаболічних реакціях організму – синтезі метильних груп, відновленні дисульфідних груп в сульфгідрильні, синтезі білків і НК, в реакціях ізомеризації, сприяє накопиченню жиру, забезпечує утворення в організмі вітаміну А, активує фермент каротиназу, забезпечує нормальне дозрівання еритроцитів. Недостача вітаміну веде до порушення утворення еритроцитів в кістковому мозку. Метилкобаламін бере участь у біосинтезі метіоніну, оцтової кислоти і метану.

Застосовують вітамін B_{12} при різних формах анемій, хворобах травного каналу, печінки (хвороба Боткіна, гепатити, цирози), ураженнях нервової системи (неврити, атеросклероз, поліневрити).

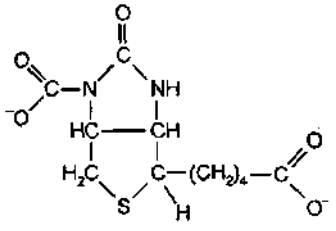
Основне джерело вітаміну B_{12} – продукти тваринного походження – печінка, нирки, м'язи, яйця, молоко. При наявності кобальту в раціоні тварин вітамін B_{12} синтезується мікроорганізмами передшлунків жуйних. Багато вітаміну B_{12} є у мулі, стоячих та стічних водах. Добова норма для людини – 0,005 мг.

Вітамін Н (біотин). Назва вітаміну Н походить від німецького haupt – шкіра, оскільки при його недостачі виникає захворювання, яке виявляється в ураженні шкіри (дерматитах) та порушенні функцій нервової системи.

Біотин – безбарвна кристалічна речовина, добре розчинна у воді, спирті, стійка проти дії високих температур, кислот, лугів та УФ-випромінювання. Вітамін Н є похідним тіофену, до якого приєднаний залишок сечовини і валеріанової кислоти.



Біотин



N-карбоксибіотин

Біологічна активність його знижується при нагріванні і наявності кисню.

Основними ознаками нестачі біотину є себорейні дерматити, при яких шкіра набуває темно-землистого відтінку і злущується. Спостерігається м'язова слабість, атрофія сосочків язика, виникають

порушення з боку нервової системи, в'ялість, депресія, анемія. Знижується апетит, зменшується маса тіла, випадає шерсть, набрякають кінцівки. Вітамін Н ще називають антисеборейним.

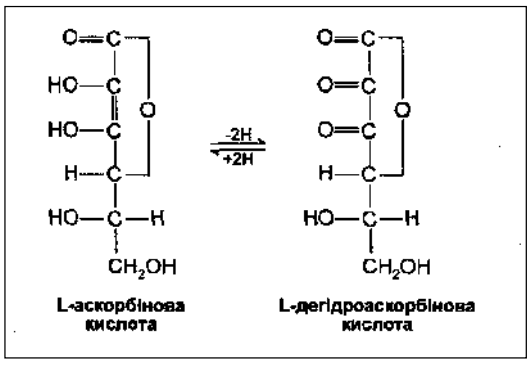
Біологічна дія вітаміну Н зумовлена тим, що він входить до складу ферментів карбоксилаз, а також ферментів, які беруть участь в процесах декарбоксилування, переамінування амінокислот, у синтезі жирних кислот, пуринових і піримідинових основ.

Антагоністи вітаміну Н – білок авідин курячого яйця та деякі структурні аналоги. Вітамін Н застосовують для лікування дерматитів, екзем, деяких видів анемій.

Вітамін Н міститься в продуктах рослинного і тваринного походження. Особливо багато його в печінці, нирках, яйцях, молоці, м'ясі, серед рослинних продуктів – в зерні ячменю, вівса, кукурудзи, в арахісовому та соєвому шроті. Добова потреба вітаміну Н для людини – 10 мкг.

Вітамін С (аскорбінова кислота). Дослідження властивостей вітаміну С пов'язане з вивченням цинги. При цьому було встановлено, що всі тваринні організми, за винятком приматів (людиноподібних мавп), морських свинок, а також за винятком людини, здатні синтезувати вітамін С. У 1922 році М.Безсонов виділив майже чистий препарат вітаміну С з соку капусти і добув його в кристалічному вигляді. Його ще називають антицинготний (або антискорбутний).

Вітамін С є похідним L-гулонової кислоти. В природі аскорбінова кислота існує лише в L-формі.



За зовнішнім виглядом аскорбінова кислота – біла кристалічна речовина без запаху, кисла на смак, добре розчинна у воді і нерозчинна в органічних розчинниках; 1 грам вітаміну С розчиняється в 5 мл води, 25 мл спирту. Вітамін С має сильні відновні властивості. При нагріванні швидко розкладається. Добувають аскорбінову кислоту в основному синтезом з глюкози та її похідного – спирту сорбіту. Важливе

значення має також мікробіологічний синтез із застосовуванням оцтовокислих бактерій.

Оскільки в організмі людини вітамін С не синтезується, то необхідне постійне його надходження з продуктами харчування. Авітамінози вітаміну С виникають найчастіше в зимовий або ранній весняний період, коли вміст вітаміну С в харчових продуктах значно знижується. Тривала відсутність упродовж 3-5 місяців призводить до виникнення цинги (або скорбуту). Її найхарактернішою ознакою є ураження кровоносних судин, особливо капілярів, що супроводжується ламкістю їх стінок і підвищенням проникливості. Зміни в капілярах призводять до виникнення підшкірних точкових крововиливів, ураження ясен – гінгівіт (розрихлення, оголення і розхитування зубів, кровоточивість ясен). При захворюванні на цингу спостерігається порушення діяльності серцево-судинної системи –прискорене серцебиття, болі в області серця, зниження артеріального тиску. Зміни з боку травного каналу характеризуються катаральним станом слизової оболонки шлунка і кишок із зміною їх секреторної функції.

Важлива роль належить вітаміну С у вуглеводному обміні. Він позитивно впливає на утворення гемоглобіну, сприяє виробленню антитіл (утворення білку інтерферону), підвищує опірність організму до захворювань.

Багато вітаміну С міститься в шипшині, чорній смородині, лимонах, апельсинах, полуницях, грецьких горіхах, червоному перці, хвої ялини та сосни (взимку), капусті, печінці. З тваринних продуктів чимало аскорбінової кислоти містять печінка, мозок, м’ясо, молоко.

Аскорбінова кислота широко застосовується при лікуванні цинги, анемій, для усунення інтоксикації організму. Вітамін С позитивно впливає на синтез білка колагену, тому його успішно застосовують при лікуванні переломів та для загоювання ран в хірургії.

Добова потреба дорослої людини у вітаміні С – до 100 мг, для дітей – 50–75 мг, для вагітних жінок, людей важкої фізичної праці – до 200–300 мг.

Жиророзчинні вітаміни. До них належать вітаміни групи А, Д, Е, К. Усі вони розчиняються в органічних розчинниках – спирті, ацетоні, бензолі, а

також в жирах. Нерозчинні у воді, термостабільні, стійкі проти зміни pH середовища, можуть відкладатися у тканинах тваринного організму, створюючи своєрідні депо. Жиророзчинні вітаміни найчастіше виконують пластичні функції – беруть участь у функціонуванні клітинних мембран, формуванні, рості та розвитку ембріона, утворенні і регенерації кісткової і епітеліальної тканин, у зсіданні крові.

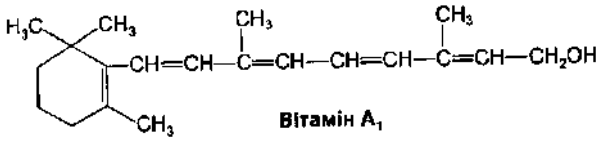
Вітаміни групи А (каротиноїди, антиксерофтальмічні). Вітамін А є одним з найдокладніше вивчених вітамінів, з відкриття якого почалась історія вітамінології. У 1892 році російський дослідник М. Соловйов висловив припущення про наявність в жирах речовини, необхідної для нормального функціонування органів зору. Згодом з вершкового масла було виділено речовину, яка запобігала розвитку захворювання очей – вітамін А. Пізніше було виявлено, що подібну дію мають і речовини, виділені з рослинного матеріалу, особливо з тих продуктів, що містять червоно-жовті пігменти – каротини. У 1930 році було встановлено, що каротини є біологічними попередниками (провітамінами) вітаміну А. Є ά, β і γ-каротини.

Найбільшу цінність має β-каротин, під час гідролізу однієї молекули якого утворюються дві молекули вітаміну А. При гідролізі однієї молекули ά- і γ-каротинів утворюється по одній молекулі вітаміну А. Перетворення каротинів у вітамін А проходить в стінці тонкого кишечника під впливом ферменту каротинази. Депо вітаміну А є печінка.

Вітамін А депонується у формі складних ефірів з вищими жирними кислотами, переважно у вигляді пальмітату.

У чистому вигляді вітамін А – блідо-жовті голчасті кристали, нерозчинні у воді і добре розчинні в жирах і органічних розчинниках (ефірі, бензині, ацетоні). Вітамін А стійкий для дії високої температури в безкисневому середовищі. При наявності кисню він швидко руйнується, навіть при звичайній температурі.

В продуктах тваринного походження вітамін А існує у двох формах – вітаміну A_1 (ретинолу) і A_2 (дегідроретинолу).



Найбільш специфічна функція вітаміну А в організмі людини – участь його в роботі зорового аналізатора. Однією з ранніх ознак А-авітамінозу є послаблення темнової адаптації – зниження зору при слабкому освітленні з наступною втратою його в сутінках – «куряча сліпота» (гемералопія).

Це зв'язано з тим, що вітамін А бере участь в утворенні зорового пурпуру, або білка родопсину, – основного світлочутливого елемента сітківки ока, а також зорового пігменту колбочок – йодопсину (рис. 3.11).

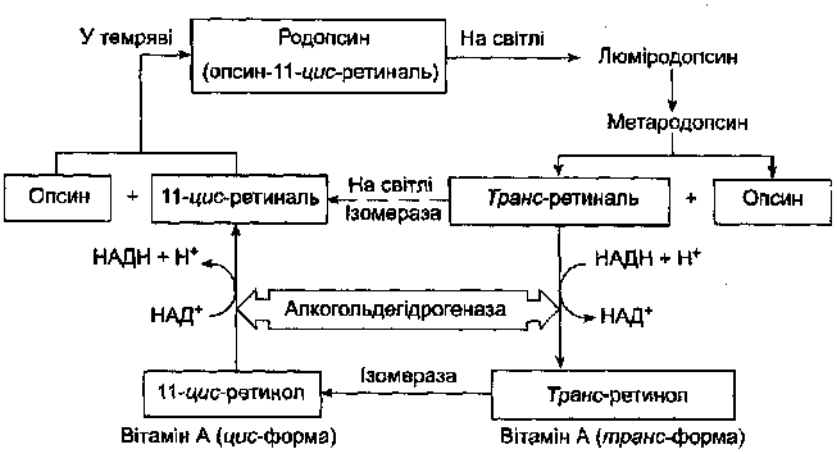


Рис. 3.11. Роль вітаміну А в акті зору

Сітківка ока містить дві фоторецепторні системи: колбочко- та паличкоподібні зорові клітини (колбочки і палички). Колбочки малочутливі і функціонують на світлі. За їх участю людина розрізняє кольори та їх відтінки. Палички більш чутливі і обумовлюють зір у сутінках. За допомогою паличок розрізняють білий і чорний кольори. Родопсин міститься в паличках і складається з білка опсину і простетичної групи – цис-ізомеру альдегідної форми вітаміну А – цис-ретиналю. На світлі родопсин через ряд стадій перетворюється в тран-ретиналь, який в темряві перетворюється в транс-ретинол, який далі перетворюється в цис-ретинол. Далі цис-ретинол перетворюється в цис-ретиналь, який сполучається з білком опсином і утворюється родопсин. При нестачі вітаміну А цей процес порушується, в результаті чого порушується адаптація органу зору до темряви.

На наступному етапі авітамінозу А (після гемералопії) порушується будова захисного епітелію рогової оболонки органів зору. Спостерігається її ороговіння, висихання, втрата прозорості. Виникає захворювання, яке називається ксерофтальмія (від лат. «ксероз» – висихання). Таким же змінам піддається і епітелій слізних залоз. Функція слізної рідини полягає в постійному обмиванні поверхні очного яблука, видаленні механічних подразників і знищенні мікроорганізмів за участю лізоциму, що входить до її складу. При ксерофтальмії в рогівку ока проникають мікроорганізми, виникає її запалення і розм'якшення (кератомаляція), внаслідок чого наступає часткова або повна втрата зору.

Вітамін А необхідний для забезпечення процесів росту і розвитку організму, диференціації клітин і тканин. При нестачі вітаміну сповільнюється ріст тварин, знижується жива маса, спостерігається ороговіння епітелію, дерматити, загальна слабкість, послаблюються захисні функції. Пошкодження слизових оболонок дихальних шляхів зумовлює виникнення бронхітів, запалення верхніх дихальних шляхів (вторинні захворювання).

Вітамін А міститься в продуктах тваринного походження: риб‘ячий жир, печінка риб (до 20-40%), молоко, яйця, сир, сметана, вершкове масло. У вигляді каротинів вітамін А міститься в рослинних продуктах, особливо у тих, які мають велику кількість жовтих пігментів: моркві, абрикосах. На каротин багаті також стручковий перець, томати, шпинат, салат, чорна смородина, аґрус, зелена цибуля.

Потреба у вітаміні А визначається інтернаціональними одиницями (І0). Кожна ІО вміщує в собі 0,68 мкг β-каротину або 0,38 мкг вітаміну А. Добова норма вітаміну А для дітей 1–2 мг, для дорослих – до 5 мг.

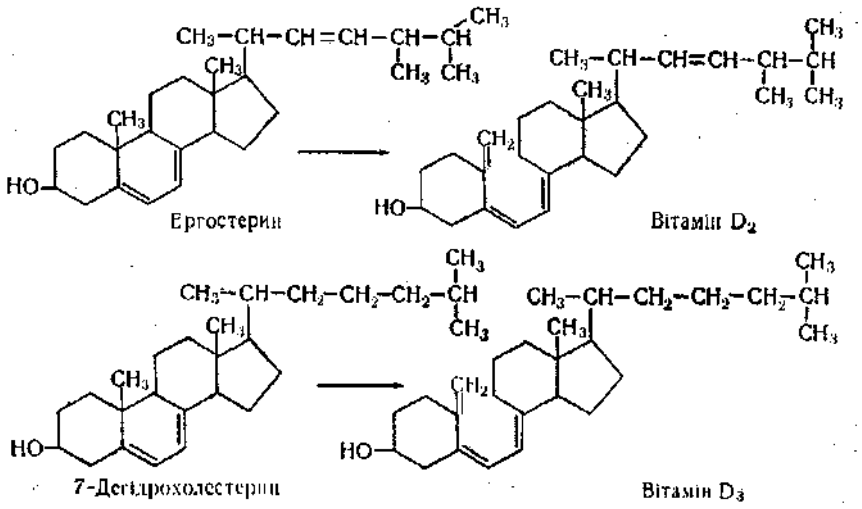
Надмірне введення вітаміну А до організму може викликати гіпервітаміноз, який проявляється у вигляді гострого отруєння організму. Це захворювання може виникати при вживанні печінки ведмедя і кита, яка дуже багата на вітамін А.

Вітаміни групи Д (кальциферолы, антирахітичні). Відомі речовини, які мають Д-вітамінні властивості – $Д_2$, $Д_3$, $Д_4$, $Д_5$, але практичне значення мають

два вітамери – $Д_2$ (ергокальциферол) і $Д_3$ (холекальциферол). $Д_1$ – суміш $Д_2$ і $Д_3$. При дослідженні цих речовин було встановлено, що вони є похідними стеринів рослинного і тваринного походження – ергостерину і холестерину.

Провітаміном (попередником) вітаміну $Д_2$ є ергостерин («ергос» – промінь), який міститься в грибах, проростках злакових культур, яєчному жовтку, в дріжджах, де він становить 90% всіх стеринів.

Провітаміном $Д_3$ є 7-дегідрохолестерин («chole» – жовч), який міститься в підшкірній жировій клітковині. Обидва попередники вітаміну Д ($Д_2$ і $Д_3$) перетворюються на вітаміни в підшкірній жировій клітковині під впливом УФ-опромінення:



Вітаміни групи Д – це безбарвні кристалічні речовини, добре розчинні в органічних розчинниках і нерозчинні у воді, стійкі проти дії високих температур, кислот і лугів в безкисневому середовищі. При наявності кисню вони швидко руйнуються, особливо при нагріванні вище 180°С.

Відкриття вітаміну Д тісно пов'язане з вивченням такого захворювання, як рахіт. У 1906 році Гопкінс висловив припущення, що причиною рахіту є неповноцінне харчування, відсутність в їжі речовин вітамінного характеру.

Рахіт може виникати в дітей, які ростуть (від.грец.rachis – хребет). З'являються О- або Х-подібна постановка кінцівок, настає викривлення хребта, западає грудна клітка, спостерігається втрата апетиту, диспептичні явища (пронос, блювання). Такі діти втрачають масу тіла, відстають у загальному розвитку, часто хворіють інфекційними захворюваннями, внаслідок затримки

процесів окостеніння кісток черепа значно збільшуються розміри голови, порушується розвиток зубів, запізнюється їх прорізування і утворення дентину. Це пов‘язано з порушенням в раціонах співвідношення Са:Р (норма 2:1 або 1:1), гіподинамією.

Вітамін Д сприяє всмоктуванню і засвоєнню кальцію в кишечнику, посилює реабсорбцію фосфору в ниркових канальцях, завдяки чому підтримується нормальне співвідношення між даними елементами в сироватці крові. Вітамін Д, крім того, сприяє переходу кальцію з крові у кісткову тканину. При рахіті порушується співвідношення між Са і Р у крові (3:1; 1:2), що негативно впливає на використання цих елементів в процесах утворення кісток.

У дорослих людей при гіповітамінозі Д спостерігається *остеомаляція* – розм'якшення і деформація кісток. При цьому розхитуються зуби, викривляється хребет, з'являється кульгавість, настає швидка втомлюваність. У старих людей спостерігається остеопороз – кістки стають ламкими, виникають спонтанні переломи. Характерний остеопороз і для високопродуктивних лактуючих корів, оскільки з молоком виділяється багато Са і Р.

При гіпервітамінозі спостерігається слабкість, втрата апетиту, диспептичні явища, втрата маси тіла, біль в суглобах, порушення процесів росту. Зростає температура тіла і кров'яний тиск, збільшується концентрація Са в крові, спостерігається кальцифікація тканин деяких органів – нирок, серця, легень, стінок кровоносних судин.

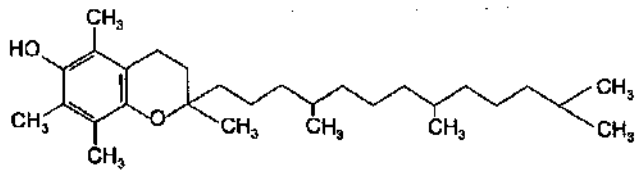
Вітаміни групи Д найчастіше зустрічаються в продуктах тваринного походження. Особливо високий вміст вітаміну $Д_3$ в жирі печінки морських і прісноводних риб, ікрі, молоці та молочних продуктах, маслі, жовтку яйця. Добрим джерелом вітаміну Д є дріжджі, в яких міститься ергостерин, що при дії УФ- випромінювання перетворюється у вітамін $Д_2$.

Добова потреба у вітаміні Д залежить від віку, фізіологічного стану організму та умов оточуючого середовища і становить для дітей – 10–20 мкг, для дорослих – 30 мкг. За нормальних фізіологічних умов і при збалансованому харчуванні дану кількість вітаміну організм отримує з продуктами харчування

та за рахунок ендогенного синтезу при дії УФ-випромінювання на 7-дегідрохолестерин, що міститься в шкірі.

Вітаміни групи Е (токофероли, антистерильні). Вітамін Е було відкрито в 1922 році як фактор, що запобігав розвитку стерильності у тварин. У 1936 році Г. Еванс і О. Емерсон виділили вітамін Е в кристалічному стані із масла зародків пшениці і насіння бавовнику. Згодом було встановлено його структуру і здійснено хімічний синтез.

Вітамін Е представлений трьома вітамерами (ά, β і γ), які відрізняються деталями хімічної будови і ступенем біологічної активності. Найбільшу біологічну активність має ά-токоферол:



α-токоферол

Якщо прийняти його біологічну активність за 100%, то активність β-токоферолу становитиме 40, а γ-токоферолу – 6%.

Вітамін Е – безбарвна, в'язка, олійста рідина, нерозчинна у воді і добре розчинна в жирах і жирових розчинниках – спирті, ефірі, стійкий до нагрівання в кислому середовищі і менш стійкий в лужному. При кулінарній обробці продуктів своєї активності не втрачає. Швидко руйнується при наявності окиснювачів і при дії УФ-променів.

При недостачі вітаміну Е порушуються обмін речовин, функції нервової системи і статевих залоз. У жінок порушується овогенез, імплантація яйцеклітин, спостерігаються аборти; у чоловіків – дегенерація паренхіми сім'яників, порушення сперматогенезу і відновлення тканини сім'яників.

Впливаючи на утворення молекул і-РНК, вітамін Е сприяє біосинтезу білків, як переносник електронів бере участь у клітинному диханні. Вітамін Е необхідний для утворення креатину і фосфагену, біосинтезу ацетилхоліну, перетворення каротинів на вітамін А. Як антиоксидант, вітамін Е запобігає накопиченню перекисних сполук у тканинах, тому вітамін А застосовується в комплексі з вітаміном Е. В клінічній практиці токофероли застосовують при

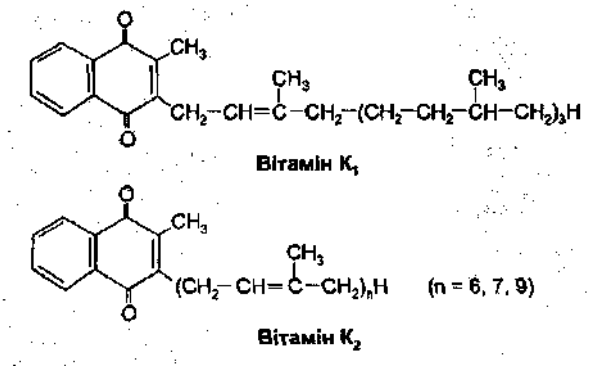
порушенні статевих функцій та при загрозах передчасного переривання вагітності, при захворюваннях нервово-м‘язової та сполучної тканин, при лікуванні виразок, опіків, обморожень, а також в промисловості для запобігання згіркненню олій.

Багато вітаміну Е в зелених частинах рослин, особливо зародках злакових культур, олії, салату, петрушки, зеленого горошку, грецьких горіхів. Певна кількість токоферолів міститься в печінці, яєчному жовтку, маслі, тваринному жирі. Добова норма вітаміну Е для дорослої людини – 11-24 мг на добу.

Депонується вітамін Е в печінці, жировій тканині, селезінці, надниркових залозах, плаценті. Надлишок токоферолів і продукти їх розпаду виділяються з калом.

Вітаміни групи К (філохінони, антигеморагічні). Вітамін К було відкрито на початку 30-х років XX століття Н. Дамом як фактор, що запобігав розвитку підшкірних крововиливів (геморагічного діатезу) у тварин. Цей вітамін дістав назву К від першої букви слова «коагуляція» (зсідання). У 1939 році вітамін К було виділено з листків люцерни і рибного борошна. Вітамін, виділений з першого джерела , дістав назву $К_1$, з другого – $К_2$. Хімічна природа вітаміну К була з'ясована в 1939 році Е. Фішером.

Вітамін К складається з двох природних форм – $К_1$ (філохінону) і $К_2$ (фарнохінону).



В 1942 році О. Палладін синтезував штучний замінник вітаміну К – вікасол. Вікасол відрізняється від вітаміну К тим, що розчиняється у воді.

Вітамін $К_1$ – жовта олійста рідина, нерозчинна у воді і розчинна в жирових розчинниках. Стійкий до нагрівання в нейтральному середовищі, легко руйнується під дією УФ-випромінювання та при нагріванні в лужному середовищі. Вітамін $К_2$ – жовта кристалічна речовина, нерозчинна у воді і розчинна в жирових розчинниках. Як і вітамін $К_1$, руйнується при нагріванні в лужному середовищі

та під дією УФ-випромінювання. Синтез вітаміну $К_2$ частково здійснюється мікроорганізмами верхньої частини тонкого кишечника. Біологічна активність філохінонів неоднакова. Вітамін $К_1$ в 1,5 рази активніший за вітамін $К_2$.

Вікасол – дрібнокристалічний порошок, гіркий на смак, нерозчинний в спирті і ацетоні, але добре розчинний у воді. Порівняно з філохінонами, він менш токсичний, не подразнює слизових оболонок, добре всмоктується в травному каналі, стійкий до нагрівання.

При гіповітамінозі вітаміну К спостерігається порушення процесів зсідання крові, зменшення міцності капілярних судин, що може призвести до геморагій і тривалих кровотеч. Вітамін К бере участь в синтезі протромбіну, який при необхіднеості переходить у тромбін. Тромбін, в свою чергу, сприяє перетворенню фібриногену у фібрин.

Вітамін К бере участь в перенесенні електронів в системі дихального ланцюга, в окисному фосфорилуванні, в результаті якого здійснюється синтез макроергічних сполук, зокрема АТФ, креатинфосфату.

Багато вітаміну К в листках капусти, шпінаті, горосі, лукових травах, кропиві, ягодах шипшини, моркві, картоплі. З тваринних продуктів порівняно високий вміст вітаміну мають печінка, підшлункова залоза, яйця, м'ясо великої рогатої худоби. У дорослих жуйних і свиней потреба у вітаміні К може задовольнятися за рахунок бактеріального синтезу в травному каналі. Добова потреба вітаміну К для людини –15 мг.

Вітамін F. Це комплекс ненасичених жирних кислот (НЖК), які не синтезуються в організмі людини і тварин – лінолева, ліноленова, арахідонова кислоти.

Ненасичені жирні кислоти – безбарвні оліїсті рідини, добре розчинні в органічних розчинниках і нерозчинні у воді. Досить легко окиснюються киснем повітря. Киплять при високих температурах (лінолева – за 182°С, ліноленова – за 184°С). Для ненасичених жирних кислот, які входять до складу вітаміну F, характерні подвійні зв'язки.

Найвищу біологічну активність має арахідонова кислота, проте у харчових продуктах її дуже мало. Ліноленова кислота малоактивна і основна її роль

полягає в активації лінолевої кислоти, яка міститься в харчових продуктах у значній кількості.

Біологічна активність вітаміну F пов'язана з наявністю в його молекулі подвійних зв'язків. Ненасичені жирні кислоти беруть участь в обміні ліпідів, стимулюють дію вітамінів групи В. Біосинтезу тканинами деяких жирних кислот, що входять до складу вітаміну F, сприяє вітамін B_6.

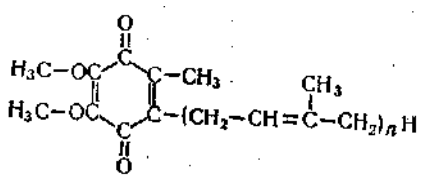
При гіповітамінозі вітаміну F припиняється ріст, виникають сухість і лущення шкіри, дерматити, крихкість і розшарування кісток. При нестачі особливо арахідонової кислоти, спостерігається утворення специфічних ефірів холестерину з насиченими жирними кислотами, які сприяють виникненню бляшок в кровоносних судинах, що призводить до розвитку атеросклерозу. Ненасичені жирні кислоти сприяють виведенню з організму холестерину(вітамін F має ліпотропну дію).

Багато ненасичених жирних кислот в рослинних оліях: горіховій (63-76%), маковій (63-74%), соєвій, бавовниковій (62-64 %), льняній (18-50%), соняшниковій (52-64%). У тваринних жирах їх значно менше: у свинячому 7-10%, у курячому 10-19%, у вершковому маслі 4-6%. Добрим джерелом арахідонової кислоти є олія земляного горіху – арахісу. Важливим джерелом ненасичених жирних кислот є також жир тюленя. Олії, що містять ненасичені жирні кислоти, легко окиснюються.

Для забезпечення потреби організму людини в ненасичених жирних кислотах в харчовий раціон необхідно поряд з тваринними жирами обов'язково включати рослинні олії. Добова потреба людини в ненасичених жирних кислотах – 2-10 г.

В клінічній практиці застосовують лінетол – суміш тригліцеридів трьох жирних кислот, що складають вітамін F. Його добувають з льняної і соняшникової олії. Лінетол є ефективним засобом для лікування опіків.

Убіхінон (кофермент Q). Його відкрили в складі жирів в 1955 році. Повсюдно поширений в клітинах, звідки походить і його назва. Вітамін – похідна хінону, який містить метильну і дві метоксильні групи в ядрі та ізопренові угруповання з 6-10 мономерів – у бічному ланцюзі.



Убіхінон – безбарвна кристалічна речовина, нерозчинна у воді і розчинна в органічних розчинниках. Міститься в усіх тканинах тварин, рослин, у мікробах. На нього багаті тканини міокарда. Вітамін знайдено також в мітохондріях, мікросомах і розчинній фракції клітини.

Убіхінон є обов‘язковим компонентом в дихальному ланцюгу при біологічному окисненні. Бере участь у перенесенні електронів і протонів у дихальному ланцюгу на ділянці між флавопротеїдом і цитохромом b. Біологічна дія вітаміну як коферменту ґрунтується на його здатності до оборотних окисно-відновних перетворень. Він акцептує протони і електрони, які доставляються дегідрогеназами, і передає їх у цитохромний ланцюг. Убіхінон застосовують в лікуванні серцево-судинних захворювань, зокрема інфаркту міокарда.

Вітаміноподібні сполуки. Крім вітамінів, вчені виділяють групу так званих вітаміноподібних сполук, які синтезуються організмом в недостатній кількості. *Вітаміноподібні сполуки* – група органічних речовин різної хімічної природи, нестача яких у продуктах харчування та недостатнє надходження в організм не викликає різко виражених змін в обмінних процесах організму. За біологічними функціями ці речовини більше подібні не до вітамінів, а до інших незамінних речовин – амінокислот, деяких ліпідів, вищих жирних кислот. Для них характерними є не лише регуляторні, а й пластичні або енергетичні функції. Частина з вітаміноподібних речовин може синтезуватись в організмі.

Холін (від грецького chole – жовч) – виділений з жовчі та з жовтка курячого яйця. За своєю будовою це двохатомний аміноспирт – сироподібна, добре розчинна у воді рідина, що має основні властивості (утворює солі з кислотами).

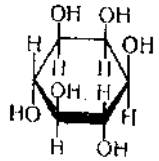
Холін входить до складу фосфоліпідів (лецитинів, кефалінів, серинфосфоліпідів), є основою для біосинтезу мембранних ліпідів і важливим ліпотропним фактором, що бере участь в обміні жирів між печінкою і жировою тканиною. З жиру і холіну в печінці утворюються лецитини, при їх наявності

забезпечується постійний відтік жирових речовин з печінки в загальне кровяне русло, що запобігає надмірному відкладенню жиру.

Холін бере активну участь у синтезі важливого медіатора передачі нервових імпульсів – ацетилхоліну, є донатором метальних груп при біосинтезі адреналіну, креатину, метіоніну. При його обміні утворюються бетаїн, мускарин, нейрин. Бетаїн – найбільш цінний для організму. Донатор метальних груп в реакціях трансметилювання; нейрин – токсична речовина отрути змій.

Багато холіну в рибному борошні, насінні бобових, кормових дріжджах, зерні вівса, яйцях. Добова потреба холіну для людини – 250-600 мг.

Інозит. Досить поширений у тваринному і рослинному світі. Необхідний людині і багатьом тваринам. Вітамінну активність має мезоінозит (1, 2, 3, 4, 5, 6-циклогексанол).

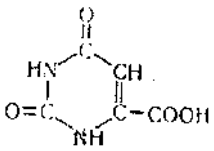


Це кристалічна речовина, солодка на смак, розчиняється у воді і не розчиняється в органічних розчинниках, температура плавлення гідрату 218°С, ангідриду – 225-227°С.

Найбільше інозиту міститься в зародках пшениці (700-900 мг на 100 г), апельсинах, зеленому горошку, значно менше – в продуктах тваринного походження – телятині, курятині, рибі, яйцях, молоці (11-50 мг на 100г). На інозит багаті міокард і мозок. У продуктах тваринного походження інозит перебуває у зв'язаній формі, у рослинних – у вигляді фітину. Всмоктуючись в тонкій кишці, інозит з током крові надходить у органи і тканини. Частина інозиту входить до складу ліпідів (інозитфосфатиди). При обміні інозит перетворюється на глюкуронову кислоту з наступними її змінами або виділяється з сечею.

Інозит є необхідною частиною клітинних мембран. Він має ліпотропну дію, запобігаючи ожирінню печінки. Знижує збудливість центральної нервової системи, підвищує перистальтику кишок, підтримує на сталому рівні осмотичний тиск у сперматозоїдах, прискорює β-окиснення жирних кислот, активує амілази, сприяє перетворенню урацилу на тимін. Добова потреба людини в інозиті 1-1,5 г.

Вітамін B_{13} (оротова кислота). Вперше оротова кислота була виділена з молозива. Є похідною піримідину.



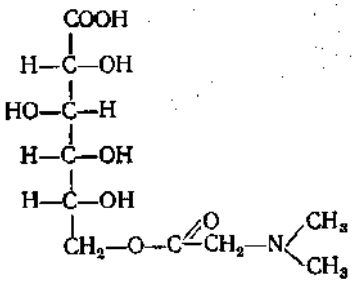
Це безбарвна кристалічна речовина, розчиняється в гарячій воді і лугах, при температурі 345-346° С плавиться з розкладанням, з лугами утворює солі. Стимулює ріст та розвиток організму. Вітаміном B_{13} багаті дріжджі, печінка, молоко корів та кіз.

Оротова кислота витрачається на синтез піримідинових нуклеотидів, а вони – на синтез нуклеїнових кислот. Сприяє утворенню жиру з глюкози, синтезу лактози, є активатором ксантиноксидази, бере участь в обміні одно-карбонових сполук.

Препарати оротової кислоти використовують для стимуляції еритропоезу після крововтрат, при лікуванні захворювань печінки, міокарда, нирок тощо.

Вітамін B_{15} (пангамова кислота). Виділений в 1950 році з екстрактів печінки та насіння різних рослин. Вітамін B_{15} – білі з жовтуватим відтінком кристали, мають характерний запах, гігроскопічні, добре розчиняються у воді і не розчиняються в органічних розчинниках. Запобігає жировій інфільтрації печінки, має досить виражений ліпотропний характер.

Пангамова кислота є складним ефіром D-глюконової і алкілованої амінооцтової кислот - N,N-диметилгліцил-6-глюконова кислота.

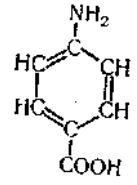


Джерелом вітаміну B_{15} є тканина печінки, кров, дріжджі, насіння рослин, рис.

Вітамін B_{15} бере участь в процесах тканинного дихання, є джерелом і переносником метильних груп, поліпшує перебіг процесів біосинтезу білків, нуклеїнових кислот, глікогену.

Препарати вітаміну застосовують при лікуванні хронічних гепатитів, цирозу печінки, емфіземи легень, коронаросклерозу, пневмосклерозу, дерматитів.

ПАБК (параамінобензойна кислота). Є похідною бензолу.



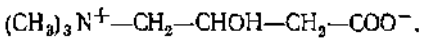
За хімічними властивостями – біла або ледь жовтувата кристалічна речовина без запаху, важко розчиняється у воді

(1:170), легко – в етанолі, амфоліт. Міститься в дріжджах, печінці, нирках, серці, яйцях, молоці, пшениці, моркві, шпинаті.

Входить до складу фолієвої кислоти, бере участь в біосинтезі ДНК та РНК, впливає на перетворення тирозину на меланін, на обмін біогенних амінів.

ПАБК використовується для лікування атеросклерозу, відновлення пігментації волосся, стимуляції діяльності щитоподібної залози, підвищення тонусу організму.

Вітамін B_T (карнітин.) Знайдений у м'язовому екстракті як речовина, що виявляє вітамінні властивості. Карнітин - β-окси-γ-триметиламіномасляна кислота:

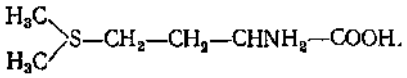


Ця безбарвна кристалічна речовина розчиняється у воді і етанолі, температура плавлення 195-197° С (з розкладанням), має властивості основ, хімічно активна. На карнітин багаті м'язова тканина (20-50 мг%), дріжджі, тканини печінки.

Карнітин бере участь у ліпідному обміні, виконуючи функції переносника залишків жирних кислот через мембрани мітохондрій, – у транспортуванні жирних кислот через мембрани мітохондрій у гіалоплазму, – у синтезі жирних кислот.

Препарати карнітину широко використовуються при лікуванні хвороб печінки.

Вітамін U (S-метилметіоніносульфонійхлорид). Відкрито як додатковий фактор харчування, що запобігає виразковій хворобі шлунка і дванадцятипалої кишки. Є похідним метіоніну:



Це тверда речовина білого кольору, солодкувато-солонувата на смак, з запахом капусти, розчиняється у воді, оптично активна. Є донатором метальних груп для біосинтезу холіну і креатину, метилує гістамін, перетворюючи його на неактивний метилгістамін. Затримує відкладення холестерину на стінках

кровоносних судин і сприяє видаленню його надлишку з організму, позитивно впливає на регенерацію епітелію слизової оболонки шлунка і дванадцятипалої кишки, уражених виразкою. Найбільше вітаміну U міститься в пагонах спаржі (0,1%), листі капусти і томатах. На нього багаті ріпа, цибуля, морква. Препарати вітаміну і продукти, багаті на нього, застосовують для лікування виразкової хвороби, гастритів тощо.

Антивітаміни – речовини, що викликають пригнічення або повну втрату біологічної активності вітамінів і призводять до гіпо- чи авітамінозів навіть за умов достатнього забезпечення організму вітамінами. Цю групу сполук об'єднує спільний характер впливу на організм, хоча механізми дії можуть суттєво відрізнятись. Антивітаміни використовують у медицині для лікування бактерійний інфекцій і пухлинних захворювань, а також для створення експериментальних авітамінозів у тварин. Частина антивітамінів діють як антиметаболіти, тобто вони є структурними аналогами вітамінів і конкурують з ними за активні центри ферментів або зв'язування із іншими речовинами, при нездатності виконувати їхні біологічні функції. Якщо антивітамін утворює комплекс із білковою частиною ферменту (апоферментом), то такий комплекс буде неактивним. Інша група антивітамінів не схожі за хімічною природою до вітамінів, але перешкоджають активності останніх, наприклад пригнічують їх всмоктування і транспорт. Так білок авідин приєднує біотин (вітамін Н) і переводить його в неактивну форму. До цієї групи також належать ферменти, такі як тіамінази I і II, що руйнують молекули вітаміну B_1, аскорбатоксидаза, яка окиснює аскорбінову кислоту.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Класифікація та біологічне значення вітамінів.
2. Поняття про гіпо-, гіпер-, авітамінози.
3. Загальні властивості жиророзчинних вітамінів.
4. Основні групи жиророзчинних вітамінів (якщо є представники в групі, вкажіть їх). Вкажіть, які хвороби попереджують вітаміни кожної групи.
5. Загальні властивості водорозчинних вітамінів.
6. Основні водорозчинні вітаміни та хвороби, які вони попереджують.

7. Вкажіть, до складу яких ферментів і у яких формах входять вітаміни B_1, B_2, B_5, B_6, H.

8. Основні вітаміноподібні сполуки.

3.9. Ферменти (ензими)

Загальна характеристика ферментів. **Ферменти (ензими) –** *це речовини білкової природи, які утворюються в живих клітинах і прискорюють біохімічні процеси в організмі (є біологічними каталізаторами).*

Вчення про ферменти називається ензимологія (en zyme – в дріжджах). Цю назву дав німецький хімік В. К'юне.

Ферменти відомі людині здавна, оскільки вони широко використовувались у практичній діяльності людини (при випіканні хліба, приготуванні вина, сиру тощо). Зародження вчення про ферменти (ензимологія) відноситься до першої половини XIX століття. Російський вчений К. Кірхгоф в 1814 році відкрив у солоді амілазу, під впливом якої крохмаль перетворюється на мальтозу. Термін „ферменти" (від латинського fermentum – закваска) ввів в науку вчений Я.Б.Ван-Гельмонт. У 1836 році Т.Шванн виявив у шлунковому соку фермент пепсин. У 1862 році О.Я.Данилевський виділив із соку підшлункової залози амілазу, ліпазу, трипсин.

У другій половині XIX століття виникла суперечка між Л.Пастером і Ю.Лібіхом відносно природи ферментів. Пастер розділив усі ферменти на „організовані" (які діють на субстрати при наявності живих клітин, наприклад ферменти дріжджів, які зумовлюють спиртове бродіння) і „неорганізовані" (які виявляють свою дію поза клітинами, що їх утворили, наприклад пепсин у порожнині шлунка). Ю.Лібіх, будучи хіміком, вважав, що ферменти можуть проявляти свою каталітичну дію як з клітинами, так і поза ними. В 1871 році російський лікар М.М.Манассеїна вперше показала, що дріжджі і після руйнування клітинної структури (розтерті і подрібнені з піском), коли вони фактично позбавлені життєвих функцій, можуть зброджувати цукор. А в 1897 році роботи Е.Бухнера остаточно вирішили спір на користь Ю.Лібіха.

У 1897 році А.Бертран встановив наявність у ферментів коферменту (коензиму) – небілкової складової. У цей час Е.Фішер створює перші уявлення

про механізм дії ферментів і субстратів (думка про те, що фермент підходить до субстрату як „ключ до замка”). У 1913 році вчені Л.Михаеліс і М.Ментен створюють основи сучасної кінетики ферментативного каталізу.

Перший кристалічний фермент (уреаза) був одержаний в 1926 році Дж.Самнером. В 1930 році Д.Х.Нортроп виділив у вигляді кристалів пепсин, а в 1931 році разом із М.Кунітцом одержав із панкреатичного соку кристалічний трипсин. У 1958 році А.Корнберг виділив фермент полімеразу, під впливом якої синтезується ДНК.

Серед вітчизняних вчених, які вивчали ферменти, – О.В.Палладін (встановив важливі закономірності внутріклітинної локалізації і вікових змін активності ферментних систем, які розщеплюють білки), М. Ф.Гулий (розробив методи виділення, очищення і кристалізації мікробних білків, які лягли в основу промислового одержання ферментів каталази, глюкозооксидози), В. О. Беліцер (вивчав ферменти клітинного дихання).

Ферменти широко використовуються в багатьох галузях народного господарства, медицині. Так, *в харчовій промисловості* ферменти використовуються при випіканні хліба; ті, що спричинюють молочнокисле бродіння, застосовують при виготовленні молочних продуктів – кефіру, ряжанки, йогурту. Хімозин (міститься у сичузі жуйних) використовується в сироварінні. У м’ясній промисловості використовують протеолітичні ферменти, які прискорюють дозрівання м’яса, підвищують його смакові якості. Різні види амілази використовують у пивоварінні і при виробництві спирту.

В медицині та ветеринарії широко застосовують ензимодіагностику. Підвищення або зниження активності ферментів крові порівняно з нормою є важливим показником патологічних змін в організмі. Цінність ферментативної діагностики – висока специфічність і можливість визначення відхилень на ранніх стадіях захворювання.

Ферменти як лікувальні препарати почали широко застосовувати в медицині та ветеринарії. Так, при лікуванні травного каналу застосовують пепсин, трипсин та інші ферменти. Лізоцим, маючи здатність руйнувати оболонки окремих хвороботворних бактерій, використовується для лікування

деяких інфекційних захворювань. Ферменти протеїнази широко застосовуються в медичній практиці (хірургії) для обробки ран, виразок, лікування остеомієлітів. Такі ферменти як фібринолізин, стрептокіназа, урокіназа застосовуються для розсмоктування тромбів, які утворюються в середині кровоносної судини.

Перспективною галуззю медичної ензимології є використання *імобілізованих ферментів* – прикріплених до відповідних нерозчинних речовин-носіїв, що захищають їх від від руйнування. Такі ферменти, зберігаючи каталітичну активність, мають підвищену стабільність, більш тривалий час діють в організмі. Імобілізовані ферменти застосовують для лікування тромбозів.

В тваринництві ферменти використовують з метою підвищення продуктивності тварин. Наприклад, використання пепсину для підкорми поросят віком 2-4 місяці (3г на одну голову) підвищує їх середньодобовий приріст на 18% і знижує використання кормів на одиницю приросту на 15%.

Для підкорми телят, поросят і ягнят використовують різні ферментні препарати (орізин, терризин), які мають протеолітичну і амілолітичну дію. Вони сприяють підвищенню продуктивності тварин на 8-15%. Вважають, що ферменти доцільно застосовувати молодим тваринам, в яких порівняно з дорослими, ферментні системи, що здійснюють травлення в шлунку, розвинені недостатньо.

В останні роки ферментні препарати успішно застосовують і при силосуванні різних кормів, в результаті чого поліпшується хімічний склад і біологічна цінність силосованих кормів, засвоєння їх організмом тварин.

Біосинтез і клітинна локалізація ферментів. Методи виділення та очищення ферментів. Ферменти синтезуються в кожній клітині,тканині, органі за схемою, характерною для біосинтезу звичайного білка:

[ДНК → іРНК] → [іРНК → Рибосоми] →

(транскрипція) (трансляція)

→ [Біосинтез ферментного білка] → [Утворення активного ферменту]

Якщо фермент – складний білок, то проходить сполучення апоферменту з коферментом. Молекула ферменту набуває типової структури, енергетично вигідної для здійснення каталітичних функцій. Деякі ферменти спочатку перебувають у неактивному стані і тільки після дії активаторів стають активними.

Синтезуть ферменти в організмі безперервно. Найінтенсивніше даний процес відбувається в період росту і розвитку. Порушення якісного та кількісного складу ферментів призводить до патології, оскільки для кожного органу, тканини і клітини характерний свій «набір» ферментів.

Для ферментів характерна певна клітинна локалізація. Зокрема, у ядрі зосереджені ферменти, які беруть участь в обміні нуклеїнових кислот (аденозиндезаміназа). В ядерній мембрані містяться ферменти, що беруть участь у транспортуванні окремих сполук та енергії (ацетилестераза). Ферменти клітинного дихання розміщені переважно в мітохондріях (піруватдегідрогеназа). Лізосоми містять ферменти, які каталізують розщеплення багатьох речовин (пептидгідролази, естерази). Ферменти біосинтезу білка концентруються в рибосомах (пептидсинтетази).

Для вивчення властивостей та клінічного використання ферментів необхідні їх високо очищені препарати. Матеріалом для добування різних ферментів є органи і тканини рослин і тварин, травні соки, клітинна маса мікроорганізмів.

Звичайно молекули ферментів зв’язані зі структурними білками, ліпідами та вуглеводами. Частина молекул ферментів перебуває в біологічних рідинах у вільному стані. Щоб виділити ферменти, потрібно клітини зруйнуівти, ферменти перевести у розчин і потім вилучити їх з нього спеціальними прийомами.

Свіжий матеріал, який призначений для добування ферментів, очищають від домішок і зберігають при низьких температурах (-20^0C). Подрібнення проводять у гомогенізаторах, ультразвуком, за допомогою лізису, розтирання в ступці з піском тощо. Для добування ферментів із субклітинних структур матеріал гомогенізують і дробно центрифугують. До окремих фракцій додають

детергенти, під впливом яких руйнуються мембрани ферментів і останні переходять у розчин. Як розчинники використовують дистильовану воду, буферні розчини, фізіологічний розчин, органічні розчинники, суміш гліцерину і дистильованої води.

При очищенні ферментів використовують почергово різні методи фракціонування, після чого ферменти перевіряють на чистоту.

Виділяють ферменти також методом адсорбції. При цьому адсорбенти промивають різними специфічними розчинниками, які переводять ферменти у розчин. Для одержання ферментів у кристалічному вигляді висушують очищені ферменти при низьких температурах та вакуумі (ліофілізація).

Загальні властивості та будова ферментів. Дослідження ферментів свідчать про те, що вони є речовинами білкової природи. Для ферментів, як і для білків, характерна висока молекулярна маса – від десятків тисяч до мільйонів. Усі ферменти добре розчиняються у воді, розчинах солей, лугів, кислот.

Ферменти – амфотерні сполуки, мають високу хімічну активність. Водні розчини ферментів виявляють типові ознаки ліофільних колоїдних систем. Ферменти очищаються від домішок діалізом.

Вони можуть денатуруватись, коагулюватись, мають ІЕТ. Прямим доказом білкової природи ферментів є лабораторний синтез таких ферментів, як рибонуклеаза (побудована із 124 залишків амінокислот) і лізоцим (складається із 118 залишків амінокислот). Причому обидва синтезовані ферменти за своїми властивостями і каталітичною активністю не відрізнялися від нативних ферментів.

Головна властивість ферментів – висока каталітична здатність. Наприклад, 1 частина амілази розкладає до мальтози 1 млн частинок крохмалю. Молекула каталази за 1 с розщеплює 550 тис молекул перекису водню.

На відміну від неорганічних каталізаторів, для ферментів характерна висока специфічність. Вона зумовлена компліментарністю між молекулами ферменту і субстрату та структурою активного центру ферменту, який забезпечує високу спорідненість ферменту до відповідного субстрату.

Специфічність ферментів – *строго спрямована дія ферменту на окремий субстрат або групу субстратів певної хімічної будови.*

Розрізняють такі види специфічності ферментів:

1. абсолютна:

2. відносна;

3. стереохімічна (стереоізомерична).

1. Абсолютна специфічність – коли фермент каталізує лише одну реакцію і діє лише на один точно визначений субстрат.

Прикладом такої специфічності є дія ферменту уреази, який каталізує гідролітичне розщеплення сечовини.

2. Відносну специфічність мають ферменти, які діють на групу подібних субстратів, в яких є подібні хімічні зв'язки.

Прикладом такої специфічності є ферменти естерази, які каталізують гідролітичне розщеплення зв'язку складноефірного типу між різними спиртами і різними вищими жирними кислотами. Також сюди відносяться ферменти травного каналу – пепсин, трипсин, хімотрипсин, які розщеплюють пептидні зв'язки у білках і пептидах різного складу і будови.

3. Стереохімічну (стереоізомеричну) специфічність мають ферменти, які каталізують перетворення субстрату з певною просторовою будовою.

Вона виявляється тоді, коли ферменти діють на оптично активні сполуки, або сполуки, для яких характерна цис- і трансізомерія. ЦК такі ферменти, які каталізують окиснення тільки L-амінокислот або тільки D-амінокислот. Їх так і називають: оксидази L-амінокислот і оксидази D-амінокислот.

Ферменти виявляють специфічність не тільки до D- і L- , а і до цис- і трансізомерів. Наприклад, фумаратгідратаза діє тільки на трансізомерфумарову кислоту і зовсім не діє на цисізомермалеїнову кислоту, для якої характерне зовсім інше просторове розміщення замісників.

Зворотність дії ферментів полягає в тому, що ферменти здатні впливати на синтез субстрату та його розпад. Це встановив Данилевський. Він штучно синтезував білки з амінокислот, і при цьому встановив, що один і той же фермент при одних умовах впливає на синтез субстрату, а при інших –

розщеплює його. Наприклад, фермент шлункового соку пепсин при pH=0,5-2 розщеплює білки до поліпептидів, а при pH=5-6 з цих самих амінокислот під впливом пепсину можуть синтезуватися білки. Оборотність дії ферментів має важливе значення, так як дозволяє економно витрачати пластичний і енергетичний матеріал. Так, одні і ті ж ферменти в анаеробній фазі розщеплюють вуглеводи до молочної кислоти і ПВК, близько 2/3 цих кислот утворюють глюкозу і глікоген під впливом тих же ферментів.

В 1930 році всі ферменти були поділені на:

- *конституційні – завжди присутні в організмі;*

- *адаптивні (індуковані) – виникають в результаті пристосування організму до певних умов існування.*

За хімічною природою ферменти поділяють на дві групи: *протеїни (прості ферменти) і складні ферменти (протеїди).*

Прості ферменти складаються тільки з амінокислот, вони представлені одним або кількома поліпептидними ланцюгами і при гідролізі розщеплюються до амінокислот. Вони належать до таких класів білків як альбуміни (естераза печінки), глобуліни (уреаза і трипсин) та до інших класів простих білків. Більшість простих ферментів каталізують процеси гідролізу (трипсин, рибонуклеаза).

Більшість ферментів належать до групи складних ферментів. Такі ферменти, крім білкової частини (апоферменту) містять групу небілкової природи – кофактор. У 1982 році М.Діксон та Е.Уебб всі кофактори поділили на три види:

- *коферменти* – неміцно зв’язані з апоферментом і сполучаються з ним під час каталітичного акту, тобто їх сполучення з ферментом оборотне. Це низькомолекулярні органічні сполуки небілкової природи (НАД, НАДФ, ліпоєва кислота, Коензим А, глутатіон, убіхінони, нуклеозидфосфати);

- простетичні групи – міцно і постійно сполучені з апоферментом (флавіннуклеотиди, тіамінфосфати);

- активатори – кофактори, які переводять фермент у активний стан, а самі не беруть участь в каталітичному акті (карбоксипептидаза, карбоангідраза). Їх часто називають металоферментами.

Треба відмітити, що поділ кофакторів на три групи досить умовний, оскільки часто дуже важко провести межу між коферментом і простетичною групою ферменту. Один і той самий кофактор може бути складовою частиною багатьох ферментів.

В загальному будову складного ферменту можна представити так:

Простий білок + небілкова частина = складний фермент
(апофермент) (кофермент, простетична група) холофермент
ферон агон

В ролі коферментів можуть виступати: окремі вітаміни, фосфорні ефіри вітамінів, речовини нуклеотидної природи, цитохроми – металовмісні сполуки, окремі пептиди (наприклад, глутатіон).

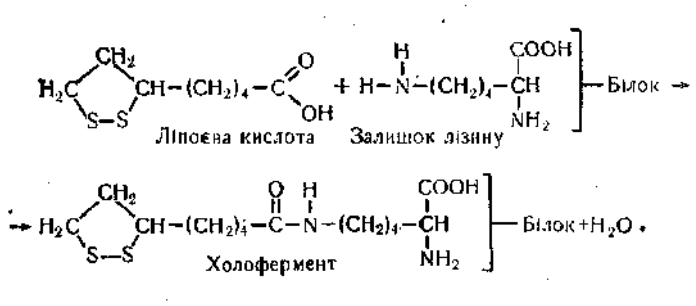
Розглянемо кожну групу окремо.

1. До складу коферментів можуть входити такі вітаміни:

а) *вітамін Н (біотин)* – входить до складу ферментів, які каталізують реакції карбоксилування і перенесення карбоксильних груп (кофермент карбоксилаз). Приєднується біотин до апоферменту за допомогою пептидного зв'язку, який утворюється між карбоксильною групою біотину і амінокислотою лізином (її ε-аміногрупою).

б) *убіхінони (кофермент Q)* – група жиророзчинних речовин, які містяться в усіх клітинах організму. Вони беруть участь у процесах тканинного дихання, переносять електрони від флавінових ферментів на цитохромну систему.

в) ліпоєва кислота – кофермент багатьох оксидоредуктаз, які беруть участь у процесах окисного декарбоксилування кетокислот. Ліпоєва кислота легко окиснюється і відновлюється, утворюючи дисульфідні зв'язки або сульфгідрильні групи. У клітинах організму частина ліпоєвої кислоти зв'язана з білком пептидним зв'язком через бічний ланцюг залишку амінокислоти лізину:



2. Коферменти – фосфорні ефіри вітамінів. Тісно зв'язані з апоферментом.

а) тіаміннірофосфат – фосфорний ефір вітаміну B_1. Входить до складу ферментів декарбоксилаз кетокислот.

б) рибофлавінфосфат – фосфорний ефір вітаміну B_2. Входить до складу жовтих дихальних ферментів (флавінових ферментів).

в) піридоксальфосфат, піридоксамінфосфат – фосфорні ефіри вітаміну B_6. Входять до складу ферментів декарбоксилаз амінокислот і амінотрансфераз (переносять амінні групи).

3. Коферменти – речовини нуклеотидної природи.

а) НАД – нікотинамідаденіндинуклеотид. Є складовою частиною понад 40 дегідрогеназ. Входить залишок аміду нікотинової кислоти (вітаміну РР). Вперше нікотинамідні коферменти були відкриті в 1904 році А.Карденом у дріжджовому екстракті. Будову їх було встановлено в 1936 році О.Г.Варбургом. Містяться в усіх живих організмах, де виконують роль проміжних акцепторів протонів і електронів від субстратів, що окиснюються, на різні акцептори в системі дихального ланцюга. Забезпечують поетапне окиснення численних метаболітів обміну білків, вуглеводів, ліпідів.

Каталітично активною групою НАД є амід нікотинової кислоти. Сировиною для добування НАД є дріжджі.

б) НАДФ – нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат. Входить до окисно-відновних ферментів. Відіграє важливу роль донора протонів водню у процесах синтезу багатьох біополімерів клітини. Механізм взаємодії нікотинамідних коферментів під час біологічного окиснення полягає в здатності їх до оборотного окиснення-відновлення. Окиснена форма

нікотинамідних коферментів позначається відповідно $НАД^+$ і $НАДФ^+$, а відновлена - НАД·Н і НАДФ·Н.

в) Коензим А (кофермент А). Для його позначення використовується скорочена формула КоА-SH. Під час ферментативного каталізу кофермент А може легко відокремлюватись від білкової молекули, тобто може діяти самостійно, без білкової частини. Був відкритий американським вченим Ф.А.Ліпманом.

Коензим А складається з азотистої основи аденіну; вуглеводу рибози; залишку фосфорної кислоти; водорозчинного вітаміну B_3 (пантотенової кислоти); сірковмісної сполуки тіоетаноламіну, яка містить сульфгідрильну (тіолову) групу. Роль активного центру виконує тіолова група.

Коензим А у вигляді кофактора бере участь у більш ніж 60 ферментативних реакціях: активуванні вищих і нижчих жирних кислот, синтезі ацетилхоліну, ліпідів, порфірину, забезпечує окиснення продуктів розщеплення вуглеводів, обміну амінокислот.

Ацетильоване похідне КоА-SH (ацетил КоА) відіграє важливу роль у процесах окисного катаболізму різних сполук і є важливою зв'язуючою ланкою між обміном білків, вуглеводів і ліпідів та циклом Кребса. КоА іноді називають коферментом ацилування або ацетилування.

4. Ферменти – цитохроми.

Цитохроми – складні залізовмісні білки, які у вигляді простетичної групи містять залізопорфіринові комплекси. Локалізовані на внутрішніх мембранах мітохондрій, хлоропластів, ендоплазматичного ретикулуму, беруть участь у різних окисно-відновних процесах. Залазопорфіринові комплекси є простетичною групою каталази, пероксидази, цитохромів.

Відомо близько 40 цитохромів. Залежно від будови простетичної групи їх поділяють на чотири групи – А, В, С, Д. Кожна група цитохромів складається з окремих представників. Вони позначаються малими латинськими буквами і цифровими індексами: а, $а_1$, $а_2$, в, $в_1$, $в_2$ і т.д.

У каталази і пероксидази простетичною групою є гем.

Цитохроми – складова частина дихального ланцюга. Вони здійснюють перенесення електронів від жовтих дихальних ферментів на цитохроми в, c_1, с, а і a_3 – входять до складу окисно-відновних ферментів.

5. Коферменти – окремі пептиди.

Прикладом є глутатіон. Це трипептид, побудований із залишків глутамінової кислоти, цистеїну і гліцину. Глутатіон може бути у двох формах – окисненій і відновленій. Бере участь в окисно-відновних процесах організму. Відновлена форма глутатіону є коферментом деяких ферментів, що каталізують реакції ізомеризації. Важлива роль належить глутатіону у зв'язуванні вільних радикалів, знешкодженні багатьох токсичних сполук, відновленні пероксиду водню та інших пероксидів, транспорті амінокислот крізь біологічні мембрани.

Ізоферменти – це ферменти, які мають однаковий тип функціональної активності (каталізують одну і ту ж реакцію), але відрізняються між собою білковим компонентом. Зараз відомі такі ізоферменти лактатдегідрогенази (ЛДГ), фосфоглюкомутази, альдолази, креатинкінази, малатдегідрогенази, ізоцитратдегідрогенази та ряду інших (рис. 3.12).

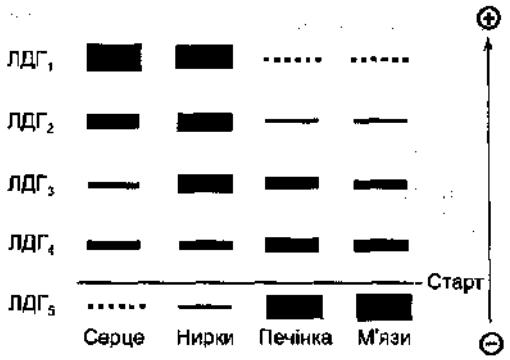


Рис. 3.12. Електрофоретичний розподіл ізоферментів ЛДГ у різних органах. Екстракти нанесені на лінію, позначену символом «Старт». За заданих умов досліду ізоферменти ЛДГ рухаються до анода, а один (ЛДГ$_5$) – до катода

Ізоферменти мають однакову субстратну специфічність і однаковий механізм дії. Відрізняються між собою окремими фізико-хімічними та імунологічними властивостями, амінокислотним складом, електрофоретичною активністю. Ізоферменти розділяють за допомогою методу електрофорезу.

Ізоферментні форми характерні для більшості ферментів рідин і тканин організму. Разом з тим склад та співвідношення форм ізоферментів змінюється

залежно від виду органів і тканин організму і навіть від виду органел однієї клітини. Ці зміни особливо чітко виявляються при різних патологічних процесах. Визначення спектру ізоферментів дає можливість діагностувати хворобу і контролювати лікування.

Вплив різних факторів на каталітичну активність ферментів. На каталітичну активність ферментів впливає цілий ряд факторів Розглянемо головні з них.

а) концентрація речовини, яку розщеплює фермент.

Речовина, на яку діє фермент, називають субстратом (S). Наприклад: крохмаль – субстрат для амілази; сечовина – субстрат для уреази.

Характерна особливість ферментів – їх висока каталітична активність. Вона значно вища, ніж у неорганічних каталізаторів. Наприклад, фермент каталаза розщеплює перекис водню в 100 млн разів швидше, ніж йони заліза.

Активність ферментів характеризується швидкістю хімічних реакцій, які вони каталізують. Якщо за певний час фермент каталізує значну кількість хімічних перетворень, то вважають, що він має високу каталітичну активність. *За одну стандартну одиницю (Е) активності прийнято ту кількість ферменту, яка каталізує перетворення 1 мікромоля даного субстрату за 1 хв при заданих умовах (температурі, pH середовища).*

б) вплив температури.

Всі ферменти – термолабільні речовини. Зміна температури зумовлює зміну їх активності. Так, підвищення температури на 10ºС прискорює швидкість хімічних реакцій в 1,5-3 рази (правило Ле Шательє). Але ферменти є білками і підвищення їх каталітичної активності відбувається до того часу, поки не почнеться денатурація білка. Денатурація ферменту викликає руйнування його нативної структури, що, в свою чергу, зумовлює втрату ферментативної активності. При температурі 90-100ºС ферменти майже повністю втрачають свою каталітичну активність. Стійкість ферментів до нагрівання часто залежить від того, в яких умовах воно проводиться: яка кислотність середовища, які солі і в якій кількості містяться в розчині, яка ступінь очистки ферменту і т.д. Багато також залежить і від хімічної природи самого ферменту. Є ряд ферментів

(рибонуклеаза, міокіназа, трипсин), які відзначаються високою термостійкістю. Фермент аденілаткіназа може короткочасно переносити температуру 100ºС.

Температура, при якій фермент має максимальну активність, називається оптимальною температурою ферменту (температурний оптимум – t^{o}_{opt}.). Для більшості ферментів, виділених з організму людини і тварин, оптимальна температура коливається в межах від 37 до 42ºС. Винятком є фермент папаїн, температурний оптимум якого знаходиться в межах 80ºС, і каталаза, температурний оптимум дії якої знаходиться в межах від 0 до 10ºС.

При зниженні температури порівняно з оптимальною активність ферментів зменшується, а при зменшенні температури нижче 0ºС вона повністю втрачається, проте, на відміну від високої температури, за цих умов їх структура не руйнується. Тому при зростанні температури ферменти повністю відновлюють свою активність. Це використовується при штучному осіменні тварин для збереження сперми.

в) вплив реакції середовища.

Активність ферментів досить чутлива до кислотності середовища. Більшість ферментів людини і тварин виявляє оптимальну активність в досить вузьких межах концентрації водневих йонів (pH). Для кожного ферменту характерне своє pH, при якому активність його максимальна. Так, оптимум pH для пепсину є 1,5-2,5, катепсину – 4,5-5,0, амілази слини – 6,8-7,0, каталази – 6,8-7,0, уреази – 7,0-7,2, трипсину – 7,5-8,5. Зміна pH відносно оптимального зумовлює зниження активності ферментів (рис. 3.13).

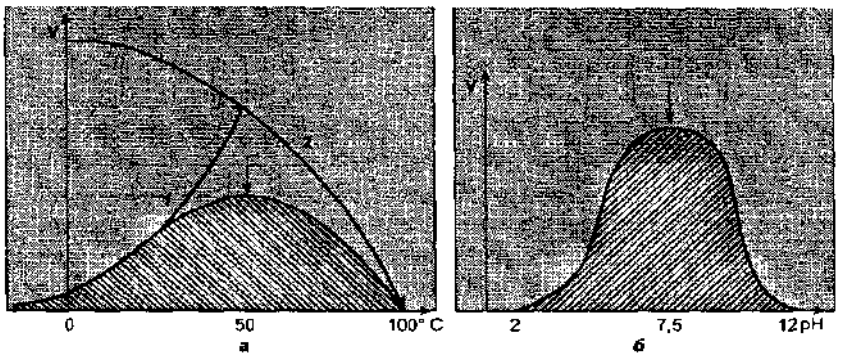


Рис. 3. 13. Залежність швидкості реакції, що каталізується ферментом, від: а – температури (1 – зростання максимальної швидкості реакції; 2 – зменшення активності внаслідок денатурації білка); б – pH середовища (стрілки вказують температурний оптимум і оптиум pH)

Вплив концентрації водневих йонів на активність ферментів пов’язаний з їх дією на активні центри ферменту. Залежно від pH середовища активний центр ферменту може бути в різній мірі йонізований, що впливає на формування фермент-субстратного комплексу.

Більшість ферментів організму виявляє максимальну каталітичну активність при pH=7.

г) вплив активаторів і паралізаторів.

Активність ферментів часто змінюється під дією різних хімічних сполук, які є в середовищі. Речовини, які підвищують активність ферментів, називаються активаторами, а ті, що знижують їх активність, - інгібіторами (паралізаторами). Часто одні і ті ж самі речовини для одних ферментів є активаторами, для других – паралізаторами. Наприклад, соляна кислота є активатором для пепсину і паралізатором для амілази слини.

Розрізняють специфічні і неспецифічні активатори і паралізатори.

Специфічні активатори – речовини, які виробляються в організмі і підвищують активність ферментів.

До них належать:

1. ентеропептидаза (ентерокіназа). Виробляється слизовою оболонкою тонкого кишечника і забезпечує процеси активації трипсиногену (перетворює його в трипсин). Попередники ферментів називаються профермент и або зимогени.

Ентеропептидаза була відкрита А.Н.Шеповальниковим у лабораторії І.П.Павлова. В зв’язку із специфікою дії він дістав назву «фермент ферментів». Особливо важливе значення ентеропетидази – участь в утворенні активної форми трипсину, який є активатором більшості протеолітичних ферментів.

2. соляна кислота. Виробляється обкладочними клітинами фундальної частини (дна) шлунку. Вона активує пепсиноген і перетворює його с пепсин.

3. жовчні кислоти. Виробляються гепатоцитами печінки, містяться в жовчі. Активують фермент ліпазу, який розщеплює жири до гліцерину та вищих жирних кислот.

4. тромбопластин (тромбокіназа). Білково-ліпідний комплекс, важливий компонент зсідання крові. Активує білок протромбін і перетворює його в тромбін.

Неспецифічні активатори – речовини, які не синтезуються організмом, поступають ззовні з їжею, підвищують активність ферментів.

До них належать різні неорганічні катіони металів, рідше – аніони: Na^+, K^+, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- та інші.

Вплив катіонів металів на активність ферментів зумовлений тим, що вони можуть виступати як складові активного центру ферменту, сприяти утворенню фермент-субстратних комплексів і т.д. Отже, цілий ряд катіонів металів є необхідною складовою частиною ферментів для їх нормального функціонування.

Специфічні інгібітори – виробляються в організмі і пригнічують активність ферментів. До них належать антиферменти: антипепсин, антитрипсин, антихімотрипсин і т.д. Вони нагадують молекулу ферменту за своєю конфігурацією, але мають протилежну дію.

Неспецифічні інгібітори – поступають ззовні, пригнічують активність ферментів.

До них належать: неорганічні кислоти, луги, алкоголі, альдегіди, солі важких металів, деякі аміни, ферментні отрути, сульфіди тощо. Інгібітори взаємодіють з активними центрами ферментів, інактивують функціональні групи білків. Високі концентрації інгібіторів руйнують четвертинну, третинну і вторинну структури молекулу ферменту, викликаючи його денатурацію.

Розрізняють оборотне і необоротне інгібування. При оборотному інгібуванні інгібітор утворює з ферментом слабкий комплекс, який здатний розпадатися, в результаті чого фермент вивільняється і набуває знову каталітичної активності. Такий інгібітор можна виділити із середовища за допомогою діалізу або іншим способом.

Необоротне інгібування характеризується тим, що інгібітор міцно зв’язується з ферментом, а комплекс, який утворився за цих умов, не

розкладається. Отже, відбувається поступове зв'язування ферменту і вилучення його (як біологічного каталізатора) із середовища.

Розрізняють два типи активування та інгібування ферментів: *алостеричне або просторове, і субстратне або конкурентне.*

При алостеричному активуванні субстрат приєднується до молекули ферменту, змінюючи її конфігурацію так, що каталітичний центр зближується з субстратом і активність ферменту досягає максимального значення.

При алостеричному інгібуванні активний центр деформується і субстрат не може приєднатися до ферменту.

При конкурентному гальмуванні інгібітор має структуру, подібну до субстрату. Тому між ними виникає конкуренція за взаємодію з ферментом. Оскільки інгібітор є структурним аналогом, то він зв'язується з активним центром ферменту і кількість утворюваного фермент-субстратного комплексу зменшується, тобто знижується і ферментативна активність. Однак дане гальмування є оборотним, так як при видаленні інгібітору здатність ферменту взаємодіяти із субстратом відновлюється.

Механізм дії ферментів. Кінетика ферментативних реакцій. Вивчення механізму дії ферментів є однією з найбільш важливих і складних проблем ензимології. За останній час досягнуто певних успіхів в її розв'язанні. Запропоновано цілий ряд теорій, які пояснюють механізм дії відповідних ферментів. За основу взято той факт, що ферменти значно знижують енергію активації тих чи інших реакцій, тобто енергію, яка необхідна для активації молекул реагуючих речовин, щоб відбулася відповідна реакція. Наприклад, для розщеплення пероксиду водню на воду і кисень без каталізатора необхідна енергія активація 75,2кДж/моль. При використанні каталізатора колоїдної платини енергія активації зменшується до 50,2 кДж/моль, а в присутності ферменту каталази – до 8,3 кДж/моль. Отже, каталізатори значно знижують енергію активації, причому ферменти краще, ніж неорганічні каталізатори, що свідчить про їх високу каталітичну дію.

Більшість дослідників вважають, що механізм дії ферментів у процесах каталізу тих чи інших реакцій пов’язаний з утворенням фермент-субстратних комплексів.

Зв’язування ферменту із субстратом здійснюється в основному через активний центр. *Активний центр ферменту* – одна або кілька функціональних груп, через які фермент з’єднується із субстратом. У простих ферментів в утворенні активного центру беруть участь білкові функціональні групи, у складних – також відповідні кофактори (рис. 3.14).

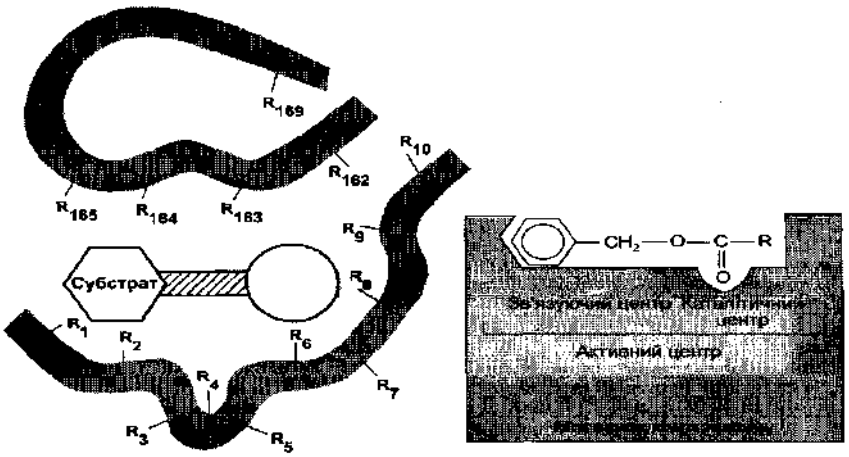


Рис. 3.14. Утворення ензимсубстратного комплексу. Активний центр ферменту (схема) (за Малером і Кордесом). Темні смуги – ділянки поліпептидного ланцюга ферменту; R – амінокислотні залишки та їхні порядкові номери (з N-кінця)

При зв’язуванні ферменту і субстрату має місце висока відповідність між субстратом і ферментом по типу «замок-ключ». Цю гіпотезу запропонував німецький вчений Е. Фішер, який порівнював фермент і субстрат як ключ із замком. Він передбачав, що фермент підходить до свого субстрату як ключ до замка (рис. 3.15).

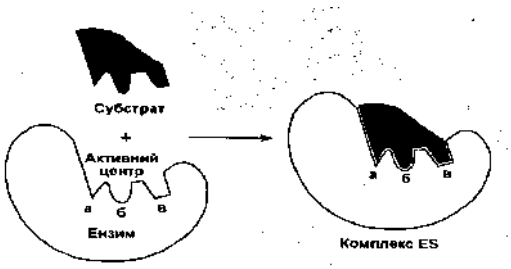


Рис. 3.15. Модель просторово-структурної відповідності субстрату й активного центру ферменту (модель Фішера «ключ-замок»)

Е.Фішер вважав, що фермент має жорстку структуру і якщо «ключ» трохи видозмінено, то він уже не підійде до свого «замка».

Процес каталітичної дії ферментів найповніше пояснює теорія Михаеліса-Ментен (теорія ферментативного каталізу).

Згідно неї процес відбувається в чотири етапи:

І етап – між субстратом і ферментом виникає зв'язок – утворюється фермент-субстратний комплекс.

ІІ етап – субстрат під впливом ферменту активується і стає доступним для відповідних реакцій каталізу.

ІІІ етап – здійснюється каталіз фермент-субстратного комплексу (*).

ІV етап – вивільнюються молекула ферменту і продукти реакції.

Схематично процес можна зобразити так:

I II III IV

$E + S \leftrightarrow ES \leftrightarrow ES^* \leftrightarrow E + P$

Теорія ферментативного каталізу підтверджена експериментально.

Під час ферментативного каталізу виявляються білкова природа ферментів, їх термолабільність, вплив pH середовища, специфічність дії і т.д. Ферментативна реакція відбувається згідно із законом діючих мас.

Загальні принципи кінетики хімічних реакцій можуть бути застосовані і до ферментативних реакцій.

Розрізняють кілька типів ферментативних реакцій: необоротні реакції з одним субстратом, оборотні реакції з одним субстратом, необоротні реакції з двома субстратами і т.д. Найпоширенішими є необортні реакції з одним субстратом.

Л.Михаеліс і М. Ментен розробили загальну теорію ферментативної кінетики. Вони виходили з припущення, що ферментативний процес відбувається за такою схемою реакції:

$$E + S \underset{k_{-1}}{\overset{k_{+1}}{\rightleftharpoons}} ES \underset{k_{-2}}{\overset{k_{+2}}{\rightleftharpoons}} E + P$$

Тобто фермент Е вступає у взаємодію зі субстратом S з утворенням проміжного комплексу ES, який далі розпадається на вільний фермент і продукт реакції Р.

Ферментсубстратний комплекс характеризується константою швидкості реакції його утворення k_{+1} і константою швидкості реакції розпаду k_{-1}.

Математична обробка на основі закону діючих мас дала можливість вивести рівняння:

$$v = \frac{V_{max} \cdot [S]}{K_S + [S]},$$ де:

v – швидкість реакції при даній концентрації субстрату [S];

K_S – константа дисоціації ферментсубстратного комплексу, моль/л;

V_{max} – максимальна швидкість реакції при повному насиченні ферменту субстратом.

Це рівняння назване на честь авторів **рівнянням Михаеліса-Ментен** і виражає кількісне співвідношення між концентрацією субстрату і швидкістю ферментативної реакції.

З рівняння Михаеліса-Ментен випливає, що при високій концентрації субстрату і низькому значенні K_S швидкістьреакціїємаксимальною, тобто $v = V_{max}$. При низькій концентрації субстрату, навпаки, швидкість реакції є пропорційною концентрації субстрату в кожен даний момент.

Ферментсубстратному комплексу властива субстратна константа, або константа дисоціації K_S:

$$K_S = \frac{k_{-1}}{k_{+1}}.$$

Значення субстратної константи залежить від природи субстрату і ферменту. Вона визначає ступінь спорідненості ферменту і субстрату. Наприклад, для інвертази K_S= 0,0167. Тут концентрація ферментсубстратного комплексу перевищує концентрацію вільних ферменту і субстрату приблизно в 60 разів.

Для повної характеристики ферментативного процесу використовують константу Михаеліса K_m. Вона виражає відношення констант трьох реакцій, показаних у системі

$$K_m = \frac{k_{-1} + k_{+2}}{k_{+1}}.$$

Числовий вираз K_m завжди дещо більший, ніж K_S. Так, значення K_S для ферментсубстратного комплексу сахараза-сахароза дорівнює 0,0167, а K_m – 0,0280 моль/л. Величина K_m для різних ферментів неоднакова.

Швидкість ферментативних реакцій виражають у каталах (кат). *Катал* – каталітична активність ферменту, здатна здійснювати реакцію із швидкістю, що становить 1 моль/с в заданій системі вимірювання активності. Часто застосовують похідні каталу – мікрокатали (мккат), нанокатали (нкат) або пікокатали (пкат), чому відповідають швидкості реакцій, виражені в мікромолях, наномолях і пікомолях за секунду. Одна ферментна одиниця або міжнародна одиниця активності ферменту Е (U) відповідає 16,67 нкат.

Про *чистоту* ферменту судять за значенням питомої активності, яку виражають кількістю одиниць активності ферменту, що міститься в 1 мг білка (або кількістюкаталів на 1 кг активного білка).

Класифікація ферментів. На сьогоднішній день відомо понад 2000 ферментів. З відкриттям і дослідженням нових ферментів виникла потреба у їх систематиці і класифікації.

Ще наприкінці 19 століття Е.Дюкло запропонував номенклатуру ферментів відповідно до назви субстрату, на який вони діють, з додаванням суфіксу –аза. Так, фермент, що каталізує гідролітичне розщеплення крохмалю, називається амілазою (amilym – крохмаль), гідроліз жирів – ліпаза (lipos – жир), гідроліз сечовини – уреаза (urea – сечовина). У 50-х роках двадцятого століття у зв’язку із швидким розвитком ензимології виникла потреба науково-обгрунтованої номенклатури і систематизованої класифікації ферментів, за допомогою якої можна було будь-який фермент точно ідентифікувати.

Тому у 1955 році Генеральна асамблея Міжнародної біохімічної спілки на третьому Міжнародному біохімічному конгресі в Брюсселі постановила створити міжнародну комісію по ферментах, до складу якої ввійшли видатні радянські і зарубіжні біохіміки-ферментологи.

Від нашої країни до складу комісії ввійшли академіки О.О.Браунштейн і В.О.Енгельгардт. Результати роботи комісії що до номенклатури і класифікації ферментів було розглянуто і схвалено на V Міжнародному біохімічному конгресі, який відбувся у 1961 році в Москві.

За новою систематичною номенклатурою назви ферментів складаються з двох частин. Перша назва вказує на назву субстрату, на який діє фермент, друга – на природу хімічної реакції, яку він каталізує, з додаванням суфікса –аза. Перша частина назви ферменту з другою його назвою з'єднуються через дефіс. Наприклад, фермент, який каталізує гідроліз ацетил-КоА, дістав назву ацетил-КоА-гідролаза, дипептидуг ліциллейцину – гліцин-L-лейцин-гідролаза і т.д.

У ряді випадків систематична номенклатура значно складніша, ніж стара тривіальна номенклатура. Тому крім нової систематичної номенклатури використовують також тривіальні (робочі) назви ферментів. Наприклад, фермент, який розщеплює сечовину, за систематичною номенклатурою має назву карбамід-амідо-гідролаза, а за тривіальною – уреазою.

Зараз в біологічній літературі використовуються обидві назви ферментів – систематична (наукова) і тривіальна (робоча).

В основу класифікації ферментів покладено принцип їх дії. На цій основі усі ферменти поділяють на шість класів:

1. Оксидоредуктази – ферменти, які каталізують процеси окиснення і відновлення.

2. Трансферази – прискорюють реакції перенесення окремих атомів і груп від одних субстратів на інші.

3. Гідролази – каталізують розпад субстрату на простіші речовини за участю води.

4. Ліази – каталізують процеси відщеплення яких-небудь груп не гідролітичним шляхом з утворенням подвійного зв'язку або навпаки, приєднання відповідних груп атомів за місцем подвійного зв'язку.

5. Ізомерази – каталізують реакції ізомеризації органічних сполук (утворення ізомерів).

6. Лігази (синтетази) – каталізують реакції синтезу, які пов'язані з використанням енергії АТФ та деяких інших трифосфатів.

Класи ферментів поділяють на підкласи, а останні – на підпідкласи. До підпідкласу входять уже окремі представники ферментів.

Кожен фермент має свій шифр, який складається з чотирьох цифр: перша – клас; друга – підклас; третя – під підклас; четверта – порядковий номер ферменту в під підкласі. На початку шифру ставлять дві букви КФ, що означає «класифікація ферментів», а цифри розділяють крапками.

1. Клас оксидоредуктази

Підкласи:

- *оксидази* – окиснюють водень з утворенням води;

- *пероксидази* – як акцептор використовують H_2O_2 (сюди належать каталаза і пероксидаза;

- *дегідрогенази* – каталізують реакції відщеплення водню від субстрату і перенесення його на інші органічні субстрати.

2. Клас трансферази

Підкласи:

- *метилтрансферази* (каталізують реакції переметилювання);

- *ацилтрансферази* – переносять ацильні залишки за участю КоА;

- *глікозидтрансферази* – каталізують перенесення залишків вуглеводів від різних глікозидних сполук;

- *амінотрансферази* – каталізують реакції перенесення аміногруп;

- *сульфідтрансферази* – каталізують реакції перенесення сірковмісних груп.

3. Клас гідролази

Підкласи:

- *естерази* – діють на складноефірні зв'язки (ферменти, ліпаза, фосфатаза);

- *глікозидази* – діють на глікозильні сполуки (амілаза, інулаза, целюлоза;

- *протеїнази* (пептид-гідролази) – каталізують розщеплення пептидних зв'язків у білках (амінопептидаза, карбоксипептидаза, пепсин, катепсин).

4. Клас ліази

Підкласи:

- *гідратази (дегідрази)* – каталізують реакції гідратації і дегідратації органічних сполук (фумаратгідратаза);

- *декарбоксилази* – каталізують реакції декарбоксилування кетокислот;

- *альдолази* – каталізують розщеплення гексоз на тріози (фруктозо-дифосфат-альдолаза).

5. Клас ізомерази

Підкласи:

- *рацемази і епімерази* – каталізують реакції інверсії асиметричних груп в молекулах різних речовин;

- *цис,- трансізомерази* – каталізують реакції зміни геометричної конфігурації відповідних груп (радикалів) відносно до подвійного зв'язку;

- *мутази* – каталізують перенесення груп атомів в молекулі з одного положення в інше (фосфогліцеромутаза).

6. Клас лігази (синтетази)

Підкласи:

- *пептидсинтетази* – каталізують реакції утворення пептидних зв'язків;

- *карбоксилази* – каталізують реакції карбоксилування (піруваткарбоксилаза);

Класифікація і номенклатура ферментів у ході розвитку біохімії постійно вдосконалюються, а число ферментів з кожним роком збільшується.

Обмін речовин в організмі каталізується поліферментними системами, у які входять ферменти, що належать до всіх шести класів. Між ферментами існує взаємозв'язок, спадкоємність і послідовність.

Зв'язок між ферментами може мати різний характер. Часто система зв’язку між ферментами створюється через проміжні продукти реакції, причому продукт, що виник у результаті діяльності одного ферменту, є субстратом для наступного ферменту. Прикладами є анаеробний розпад вуглеводів, цикл трикарбонових кислот, бета-окиснення вищих жирних кислот, орнітиновий цикл синтезу сечовини.

Продукти реакції одного ферменту в надлишку можуть гальмувати його активність або активність іншого ферменту (наприклад, надлишок молочної кислоти пригнічує активність ЛДГ). Такий вид гальмування називається *субстратним*, оскільки при ньому фермент, який сприяє утворенню субстрату, сам виявився заблокованим. Якщо субстрат гальмує активність ключового ферменту, яким починається метаболічний цикл, таке гальмування називають *ретроградним*. Так, надлишок молочної кислоти гальмує діяльність гексокінази, якою розпочинається розпад глікогену або глюкози. Виникає гальмування діяльності ферменту за принципом зворотного зв’язку.

У діяльності ферментів різних класів існує спадкоємність. Так, поживні речовини корму під впливом гідролаз травних соків розщеплюються на прості речовини, які надходять у кровоносну систему, потім – в органи, тканини та клітини. У клітинах під впливом ферментів лігаз з них утворюються речовини, які використовуються для різних потреб організму. Такі ферменти називають *регуляторними.* Вони розміщені на початку мультиферментної системи. Також взаємозв’язок між ферментами може відбуватися генетично, тобто кодуватися генетичною інформацією і передаватися через синтез ферментативних білків.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Загальна характеристика ферментів.
2. Хімічна природа ферментів.
3. Залежність дії ферментів від температури, pH середовища.
4. Специфічність ферментів та її види.
5. Сучасні уявлення про механізм дії ферментів.
6. Поняття про ізоферменти.

3.10. Гормони

Загальна характеристика і класифікація гормонів. Зародження знань про залози внутрішньої секреції і гормони відноситься до 1849 року, коли Т.Аддісон вперше описав так звану бронзову хворобу, яка зв'язана з ураженням наднирників і супроводжується специфічною пігментацією шкірних покривів. К. Бернар ввів поняття про залози внутрішньої секреції. Пізніше Ш.Броун-Секар показав, що недостатність залоз внутрішньої секреції призводить до розвитку хвороб і що екстракти із цих залоз дають хороший лікувальний ефект при їх недостатній секреції.

Основною ознакою будови залоз внутрішньої секреції є відсутність вивідних протоків, тому їхні секрети виділяються безпосередньо у кров або лімфу, що їх омиває.

До залоз внутрішньої секреції відносяться: епіфіз, гіпофіз, прищитоподібні залози, щитоподібна залоза, загрудинна залоза, наднирники, підшлункова залоза, яєчники, сім'яники.

Підшлункова залоза, статеві залози є залозами *змішаної секреції,* оскільки крім гормонів вони синтезують і інші речовини (підшлункова залоза – ферменти амілазу, трипсин, хімотрипсин, карбоксипептидазу); статеві залози – статеві клітини.

Залози внутрішньої секреції виробляють гормони. Залози можуть виділяти гормони в надлишку і це супроводжується їх *гіперфункцією.* В інших випадках залози можуть виробляти мало гормонів, тоді проявляється недостатність їх в організмі – *гіпофункція.*

Гіперфункція і гіпофункція призводять до порушення життєдіяльності організму, захворювань.

В даний час встановлено, що майже всі захворювання залоз внутрішньої секреції розвиваються як результат порушення молекулярних механізмів регуляції процесів обміну, які викликані недостатнім або, навпаки, підвищеним синтезом відповідних гормонів в організмі людини.

Термін «гормон» (від грецького hormao – збуджувати, приводити в дію) був введений в 1905 році В.Бейлісом і Е.Старлінгом при вивченні гормону

секретину, що виробляється в 12-палій кишці і стимулює вироблення соку підшлункової залози і відхід жовчі.

Гормони *– біологічно активні речовини різної хімічної природи, які виробляються в залозах внутрішньої секреції і виділяються безпосередньо в кров, лімфу або ліквор і діють на різні сторони обміну речовин та фізіологічні функції організму.*

Наука про залози внутрішньої секреції – ендокринологія.

Значення гормонів в організмі досить важливе:

- змінюють структуру і функцію клітин, тканин і органів, їх фізіологію і морфологію;

- впливають на ріст, розвиток, адаптацію організму;

- підтримують фізіологічну сталість внутрішнього середовища – гомеостаз;

- регулюють інтенсивність обміну речовин залежно від умов зовнішнього середовища.

Гормони мають деякі характерні специфічні особливості:

- висока біологічна активність. Біологічну дію гормони виявляють в мізерних кількостях – від 10^{-9} до 10^{-12}г;

- сувора специфічність дії;

- дистантність дії;

- короткочасність дії.

Синтезуються гормони переважно у вигляді неактивних попередників, які далі перетворюються в активні форми. В організмі гормони перебувають у вільному і зв’язаному стані.

Між дією різних гормонів існує певний взаємозв’язок – вони можуть виявляти синергічну або антагоністичну дію. Прикладом гормонів-синергістів є соматотропін і тироксин, а антагоністів – інсулін та глюкагон.

Дія гормонів в цілісному організмі контролюється центральною нервовою системою.

За характером дії гормони поділяються на пускові (тропні фактори, гормони центральної нервової системи) і виконавчі (гормони периферичних залоз).

Найчастіше гормони класифікують за хімічною природою:

1. гормони стероїдної природи (статеві гормони, гормони кори наднирників);

2. гормони білкової природи:

- гормони-складні білки;

- гормони – прості білки;

-гормони-поліпептиди;

- гормони – похідні амінокислот.

Для більшості гормонів розшифрована будова їх молекул. Багато з них одержані в чистому вигляді (інсулін, фолікулін), частина синтезована (адреналін, кортизон). Для деяких гормонів добуті синтетичні аналоги (синестрол, преднізолон).

У тканинах виділено гормоноїди, або парагормони – речовини, які мають гормональну активність (секретин, гастрит, гепарин).

Гормони стероїдної природи. До гормонів стероїдної природи відносяться статеві гормони і гормони кори наднирників.

Статеві гормони

Чоловічі статеві гормони – андрогени (від грецького andreas – чоловік).

Вони синтезуються переважно в сім'яниках, деяка частина – в яєчниках і корі наднирників. Найбільша кількість андрогенів міститься в спермі.

Усі андрогени є похідними циклічного вуглеводню – циклопентангідрофенантрену, зокрема, його метильованого похідного – андростану.

Циклопентан- метилювання

пергідрофенантрен → андростан → андрогени

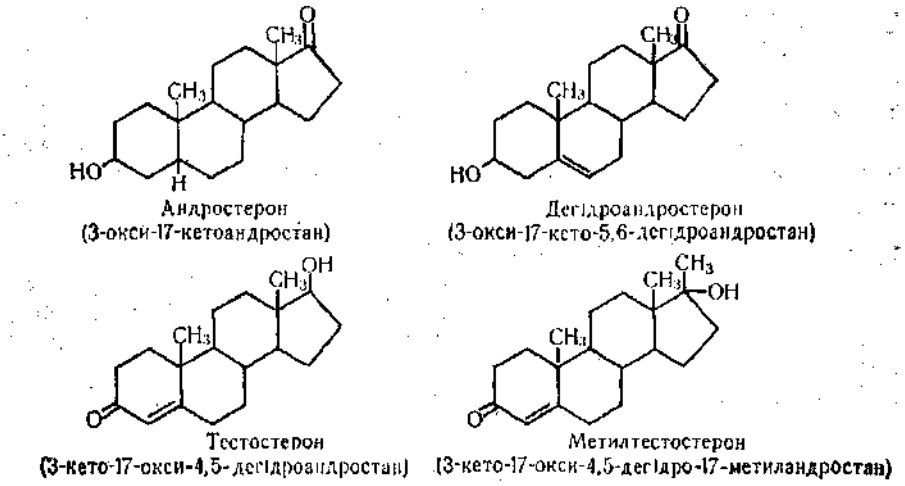
Найважливішими серед андрогенів є:

- *андростерон;*

- *дегідроандростерон;*

- *тестостерон;*

- *метилтестостерон – синтетичний аналог:*



Перші три не розчиняються у воді, метилтестостерон добре розчинний у воді. Найвища біологічна активність характерна для тестостерону.

Андрогени відіграють в організмі досить важливу роль. Вони визначають зовнішній вигляд тварин, ріст, розвиток і до деякої міри властивості психіки. З підвищенням секреції андрогенів пов'язана агресивність самців багатьох видів тварин в період статевого дозрівання та в шлюбний період.

Введенням андрогенів можна викликати прискорений розвиток тварин. Зокрема, при ін'єкції тестостерону двотижневим півням спостерігається посилений ріст гребеня, настає статева зрілість. При видаленні статевих залоз спостерігаються значні зміни в обмінних процесах організму – змінюється зовнішній вигляд тварин, послаблюються процеси обміну, спостерігається ожиріння. З давніх часів кастрацію тварин проводили з метою підвищення їх продуктивності. Видалення статевих залоз, природна недорозвиненість або відсутність статевих залоз у людини призводить до євнухоїдизму. Характерними ознаками його є ожиріння, диспропорції тіла (досить довгі руки і ноги при звичайній довжині або вкороченому тулубі), порушується ріст волосся. Причому це захворювання може мати спадковий характер.

Андрогени свій вплив проявляють уже в ембріональному періоді розвитку на диференціювання статевих органів і різних тканин організму.

Біологічна роль андрогенів: стимуллють розвиток чоловічих статевих органів і вторинних статевих ознак – голосу, поведінки, розміщення волосся на поверхні тіла; стимулюють сперматогенез; гальмують відкладення жиру;

стимулюють синтез білків у м’язах, сприяють розвитку мускулатури; підвищують васкуляризацію (кровонаповнення) окремих органів; затримують азот в організмі; впливають на активність різних ферментів; знижують швидкість катаболізму.

Виділення андрогенів відбувається безперервно.

Посиленою секрецією андрогенів пояснюється те, що самці багатьох видів тварин більші за самок.

Жіночі статеві гормони – естрогени (estrus – тічка).

Основне місце синтезу цих гормонів – яєчники і жовте тіло. Певна кількість їх синтезується також в плаценті, сім’яниках та корі надниркових залоз.

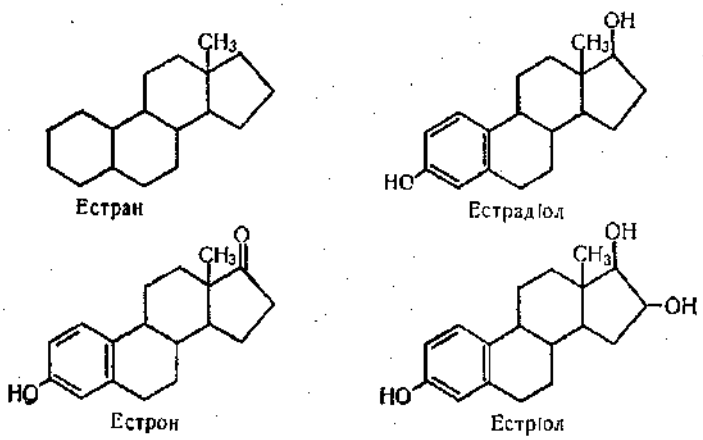
Вперше жіночі статеві гормони було виділено з сечі вагітних жінок у 1929 році.

Біосинтез цих гормонів відбувається циклічно.

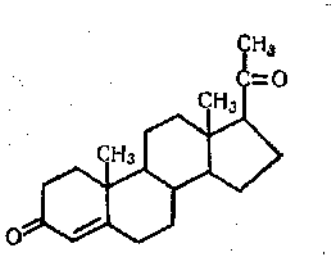
Холестерин → естран → жіночі статеві гормони.

До них відносяться:

- *естрон (фолікулін);*
- *естрадіол;*
- *естріол.* Утворюються в яєчниках:



В жовтому тілі утворюється *прогестерон:*



Прогестерон

Секреція гормонів має циклічний характер і залежить від фази статевого циклу. В першій фазі циклу синтезуються переважно естрогени, в другій – прогестерон.

Біологічна роль естрогенів: впливають на розвиток статевих органів і на вторинні статеві ознаки; стимулюють біосинтез білків, тканинне дихання, синтез різних видів РНК; стимулюють активність деяких ферментів (амінотрансфераз, оксидоредуктаз); сприяють підтриманню позитивного азотистого балансу; сприяють імплантації яйцеклітини до стінки матки; зберігають вагітність; зменшують час для звертання крові; сприяють перистальтиці фаллопієвих труб.

Основна біологічна роль жіночих статевих гормонів, синтез яких розпочинається після настання статевої зрілості, полягає в забезпеченні репродуктивної функції організму.

При порушенні синтезу статевих гормонів може виникнути безпліддя.

Жіночі статеві гормони широко використовуються в лікувальній практиці. Крім природних гормонів використовуються їх синтетичні аналоги, які мають естрогенну активність, і, на відміну від природних гормонів, не руйнуються в травному каналі. Найчастіше в медичній практиці використовують синестрол і стільбестрол. Ці синтетичні аналоги використовують також в онкологічній практиці для лікування раку простати.

Гермафродитизм (від грецького Hermaphroditos – син Гермеса і Афродіти, міфічна двостатева істота) – наявність органів чоловічої і жіночої статі у однієї і тієї ж особини. Природний гермафродитизм широко поширений в тваринному світі і притаманний п’явкам, багатьом брюхоногим молюскам, ряду риб.

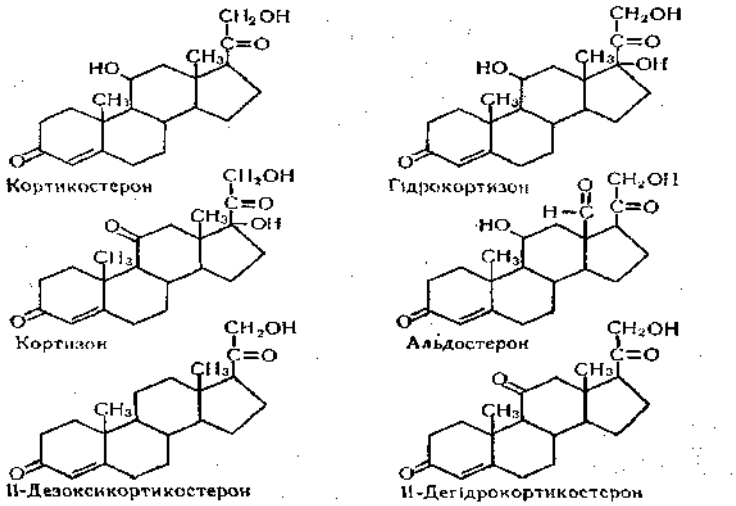
Аномальний гермафродитизм спостерігається у всіх груп тварин і у людини і звичайно буває обумовлений генетично.

Гормони кори наднирників

Загальна назва – кортикостероїди.

В корі наднирників синтезується велика кількість сполук стероїдної природи, частина з яких має біологічну активність і виявляє гормональну дію. З кори наднирників виділено близько 100 різних сполук, однак регуляторний вплив на метаболічні процеси в організмі характерний лише для частини кортикостероїдів.

Серед кортикостероїдів найбільш докладно вивчено *шість гормонів стероїдної природи: два мінералокортикоїди і чотири глікокортикоїди:*



До мінералокортикоїдів належать:

- *альдостерон;*
- *11-дезоксикортикостерон.*

До глікокортикоїдів належать:

- *гідрокортизон;*
- *кортизон;*
- *кортикостерон;*
- *11-дегідрокортикостерон.*

Мінералокортикоїди регулюють мінеральний обмін – сприяють затримці в тканинах натрію і води, посилюють виділення йонів калію. При нестачі цих гормонів в організмі спостерігається втрата йонів натрію і хлору, падає

осмотичний тиск крові, порушується функціонування деяких органів і систем організму.

Найбільш ефективним мінералокортикостероїдом є альдостерон.

Глікокортикоїди регулюють обмін білків, ліпідів і вуглеводів. Особливо значний вплив виявляють вони на обмін вуглеводів – сприяють підвищенню рівнів цукру в крові і глюкози в печінці посиленням гліконеогенезу. Вони також посилюють перетворення білків у вуглеводи, збільшують виділення азотистих речовин із сечею.

Характерною функцією глікокортикоїдів є також вплив їх на деякі неспецифічні реакції організму, які зумовлюють посилення захисних реакцій, а також протизапальну і протиалергічну дію, оскільки вони гальмують розвиток лімфоїдної тканини, яка відповідає за формування імунних і алергічних реакцій.

При гіпофункції надниркових залоз і порушенні виділення глікокортикоїдів і мінералокортикоїдів порушується обмін білків, вуглеводів і ліпідів, падає вміст глюкози і глікогену, з'являються набряки, порушується діяльність серцево-судинної системи, виникає «бронзова» або Адісонова хвороба. Захворювання характеризується посиленою пігментацією шкіри, розвитком м'язової слабкості, порушенням діяльності серцево-судинної системи, водного і мінерального обміну. При цьому різко знижується концентрація йонів натрію і хлору і значно підвищується концентрація йонів калію в крові і м'язах, що супроводжується зневодненням організму.

Гормони кори надниркових залоз широко використовуються в клінічній медицині для лікування багатьох захворювань – бронхіальної асми, ревматоїдного артриту, дерматозів, поліартритів.

Гормони білкової природи

До гормонів білкової природи відносяться гормони підшлункової залози, щитоподібної залози, мозкової частини наднирників, гормони гіпофізу.

Гормони підшлункової залози. До них належать: інсулін, глюкагон, ліпокаїн, ваготонін, центроптеїн.

Інсулін (від латинського insula – острів). Відкриття цього гормону пов'язане із вивченням причин цукрового діабету. Гормон був відкритий у 1902 році Л.В.Соболєвим. В 1954 році Ф.Сенгер встановив структуру інсуліну.

Інсулін виробляється β-клітинами острівців Лангенгарса з амінокислот. Спочатку утворюється проінсулін, що складається з 73 або 84 залишків амінокислот. Потім під впливом нейрогуморальних факторів у двох ділянках ланцюга молекули проінсуліну відбувається розрив і відщеплюється сполучувальний пептид. У результаті цього утворюється молекула інсуліну (рис.3.16).

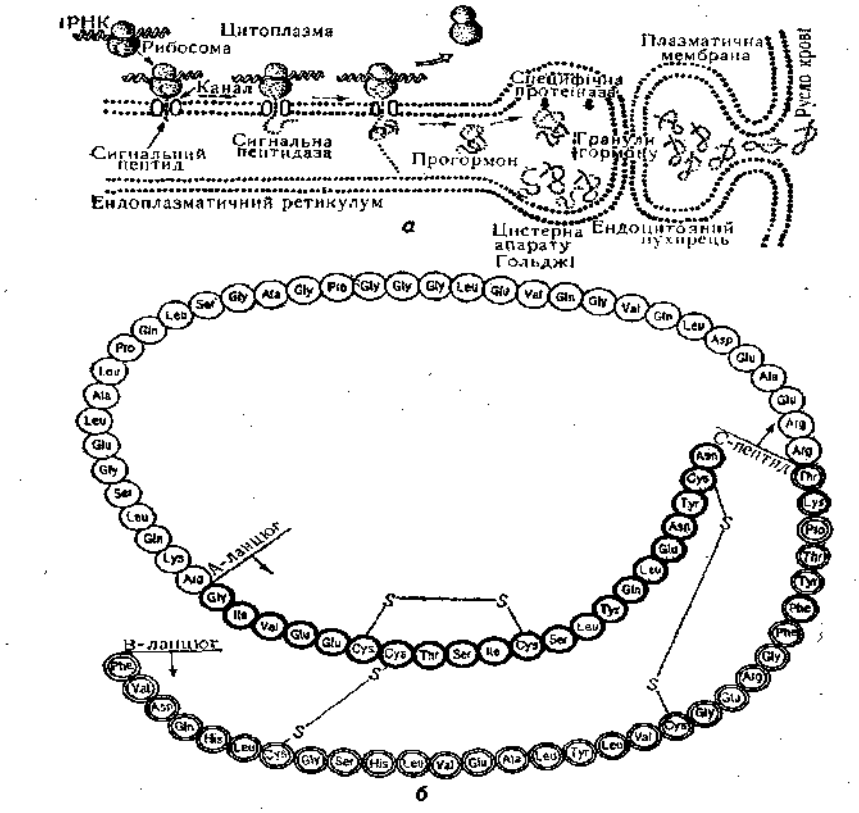


Рис. 3.16. Схема біосинтезу і перетворення на активні форми білкових і пептидних гормонів: а – схема біосинтезу гормонів; б – відщеплення С-пептиду від молекули проінсуліну та утворення інсуліну

За хімічною природою інсулін є глобулярним білком з молекулярною масою 6000. Складається з двох поліпептидних ланцюгів А і В, які містять відповідно 21 і 30 амінокислотних залишків, з'єднаних дисульфідними містками, що утворюються між залишками цистеїну. Вперше в 1961 році Д.Інгремом було здійснено штучний синтез інсуліну. Інсулін різних видів

тварин відрізняється деякими деталями первинної структури, в основному амінокислотними залишками в положенні 8, 9, 10.

При порушенні функції підшлункової залози (її гіпофункція) виникає захворювання цукровий діабет (3 місце серед захворювань). Основними ознаками цієї хвороби є:

- *гіперглікемія* – підвищення рівня цукру в крові (норма 80-120 мг% або 3,3-5,5 ммоль/літр);

- *глюкозурія* – виділення цукру із сечею;

- *спрага, підвищення апетиту;*

- *порушення зору* (внаслідок втрати значної кількості цукру з сечею і виснаження організму, слабкості, зниження працездатності);

- *порушення функцій внутрішніх органів* (печінки, нирок, серцево-судинної і нервової систем).

Причини виникнення цього захворювання різні. Інколи хвороба виникає після психічних травм, інфекційних захворювань, при надмірному харчуванні, пухлинах і запальних процесах в підшлунковій залозі. Певне значення має також спадковий фактор: більше ніж у 40% хворих на діабет хворіють їх батьки або близькі родичі.

При діабеті внаслідок порушення процесів використання глюкози і енергетичного голоду клітин зростає потреба в інших джерелах енергії, тому посилюється метаболізм білків і ліпідів. Спостерігається підвищення гліконеогенезу з білків і збільшення екскреції азоту із сечею.

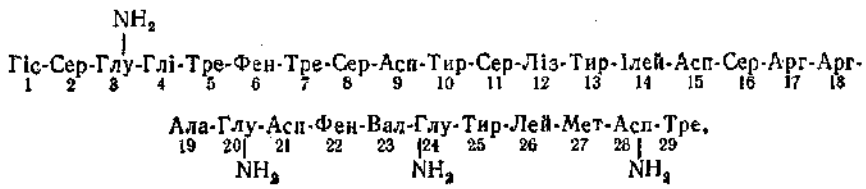
Мобілізація ліпідів із жирових депо призводить до ліпемії, може виникнути жирове переродження печінки. Процеси розпаду жирів супроводжуються появою великої кількості недоокислених продуктів ліпідного обміну – кетонових тіл (β-оксимасляної кислоти, ацетону, ацетооцтової кислоти). При концентрації їх 20 моль/л виникає ацидоз – зміна pH крові. При ацидозі утруднюються процеси постачання глюкозою клітин ЦНС, зменшується використання кисню тканинами мозку. Внаслідок усіх цих змін виникає діабетична кома.

При надмірному виділенні інсуліну (гіперінсулінізм) внаслідок гіперплазії або аденоми підшлункової залози може виникнути *гіпоглікемія.* Це захворювання прямо протилежне цукровому діабету. Спостерігаються слабкість, пітливість, відчуття голоду, прискорений пульс, втрата свідомості. Такий стан може виникнути і внаслідок введення досить високих доз інсуліну при лікуванні цукрового діабету.

Головна функція інсуліну – зменшення рівня глюкози в крові. Це відбувається такими шляхами: внаслідок збільшення проникливості клітинних мембран для глюкози; збільшення синтезу глікогену з глюкози; підсилюється фосфорилування глюкози; пригнічується синтез ферментів гліконеогенезу; стимулюється пентозний цикл окиснення вуглеводів.

Препарати інсуліну внутрівенно або внутрім'язово застосовуються при лікуванні цукрового діабету, гепатитів, панкреатитів, отруєнь.

Глюкагон – ще один гормон підшлункової залози. Добуто його у кристалічному стані у 1953 році. Згодом було вивчено його хімічну будову. Встановлено, що глюкагон – низькомолекулярний поліпептид, який складається з 29 залишків 16 амінокислот, його молекулярна маса 3470, важко розчиняється у воді. Синтезується ά-клітинами острівців Лангенгарса. Глюкагон має таку первинну структуру:



Глюкагон – антагоніст інсуліну. Він зумовлює збільшення вмісту глюкози в крові, стимулюючи процеси розпаду глікогену тільки в печінці, на відміну від адреналіну, який стимулює розпад глікогену в печінці і м'язах. Це пояснюється тим, що глюкагон стимулює перетворення неактивної фосфорилази печінки в активну при наявності відповідного ферменту, відсутнього у м'язах.

Глюкагон збільшує швидкість протеолізу (розпаду) білків у печінці. У печінці глюкагон гальмує синтез жирних кислот, холестерину з ацетату і стимулює кетогенез, активує ліпази, підвищує кількість ацетил-КоА. В нирках

під впливом гормону підвищується клубочкова фільтрація, прискорюється рух крові, посилюється екскреція натрію, хлору і сечової кислоти.

Ліпокаїн. Поліпептид, аморфний порошок жовтого кольору, розчинний у воді, з характерним запахом. Синтезується в клітинах епітелію протоків підшлункової залози. Є ліпотропним фактором – попереджує ожиріння печінки, стимулює окиснення жирів, жирних кислот та вихід їх з печінки в тканини. Посилює обмін холіну, метіоніну, сприяє окисненню фосфоліпідів.

Препарати ліпокаїну застосовують при лікуванні цукрового діабету, гепатитів, цирозу, атеросклерозу, жирової дистрофії печінки.

Ваготонін. Цей гормон стимулює діяльність парасимпатичної нервової системи. Стимулює процеси кровотворення.

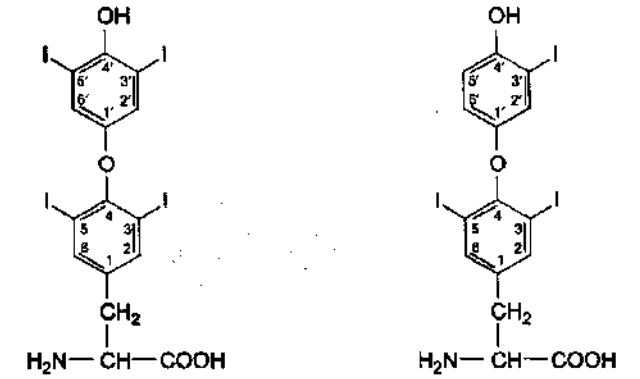
Центроптеїн. Впливає на центр дихання довгастого мозку.

Гормони щитоподібної залози. Щитоподібна залоза – одна з найдокладніше вивчених залоз внутрішньої секреції. Розміщена вона в передній області шиї і складається з двох лопастеподібних часток, сполучених тонким перешийком. Довжина часток 5-8 см, ширина – 3-4 см. Маса залози 25-30 г. Це одна з найбільших ендокринних залоз. Тканина щитоподібної залози складається з великої кількості залозистих утворень (фолікулів), заповнених в'язкою рідиною жовтого кольору (колоїдом), що продукується клітинами залози. Кожен фолікул обплетений густою капілярною сіткою, що забезпечує досить інтенсивний кровообіг в тканинах залози. Маса крові, що проходить через залозу за одну хвилину, в 3-5 разів перевищує масу всієї залози. А за одну годину майже вся кров, яка циркулює по судинній системі, встигає пройти через цей ендокринний орган.

До складу колоїду, що міститься у фолікулах щитоподібної залози, входить складний білок глікопротеїдної природи – *тиреоглобулін*, що містить від 0,5 до 1% йоду і 8-10% вуглеводів. Він є вихідною сполукою, з якої утворюються *гормони щитоподібної залози:*

- *тироксин (тетрайодтиронін);*
- *трийодтиронін.*

Загальна назва – тиреоїдні гормони:

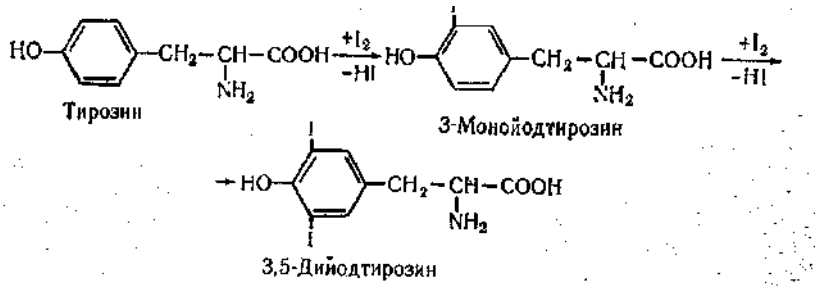


Ще один гормон, який синтезується в щитоподібній залозі – тиреокальцитонін.

Щитоподібна залоза має високу спорідненість до йоду і досить інтенсивно поглинає його з крові у вигляді йодидів. Концентрація йоду в залозі може в 25 разів перевищувати концентрацію його в плазмі крові. Йодиди (KJ, NaJ), потрапляючи до залози, перетворюються в органічно зв'язану форму. Всього в залозі міститься 10 мкг вільного йоду і 7500 мкг органічно зв'язаного.

Йод, надходячи в залозу, приєднується до амінокислот тирозину або фенілаланіну. Йодовані амінокислоти, сполучаючись в довгі ланцюги, утворюють молекулу білка тиреоглобуліну.

Таким чином, гормони утворюються з амінокислот фенілаланіну і тирозину:



Гормони щитоподібної залози є активними регуляторами метаболічних процесів в організмі. Вони забезпечують нормальне функціонування багатьох органів і систем організму. Тому при порушенні функцій щитоподібної залози

виникає ряд патологічних змін, характер і напрямок яких залежить від багатьох факторів.

Основними видами патології при порушенні функціонування щитоподібної залози є базедова хвороба, мікседема, кретинізм і ендемічний зоб.

Причиною *базедової хвороби* є гіперфункція щитоподібної залози – надмірне виділення гормонів, що синтезуються в ній. У зв'язку з тим, що велика кількість гормонів, зокрема тироксину, отруйно діє на організм людини, це захворювання називають ще тиреотоксикозом.

Вперше гіперфункцію щитоподібною залози описав німецький лікар К.Базедов у 1840 році.

Характерною ознакою захворювання є підвищення основного обміну в організмі і посилення процесів розпаду тканинних білків, вуглеводів, жирів внаслідок підвищення активності ферментів, які контролюють ці процеси (гексокіназа, сукцинатдегідрогеназа, тіолові і протеолітичні ферменти).

Посилений розпад різних сполук супроводжується нагромадженням великої кількості метаболітів проміжного обміну, для окиснення яких використовується велика кількість кисню. Внаслідок цього виникає кисневе голодування, яке негативно впливає на функціонування деяких систем організму, особливо ЦНС.

Тиреотоксикоз є одним із найпоширенішим ендокринних захворювань, яке виникає переважно у жінок у віці 20-40 років. Часто тиреотоксикоз зумовлюють різні психічні травми. За висновком Є.С.Боткіна, горе, гнів, страх можуть бути причиною важкого тиреотоксикозу, який виникає іноді дуже швидко – протягом кількох годин. Причиною є сильне збудження кори головного мозку, яке передається до щитоподібної залози безпосередньо по нервових шляхах або через гіпофіз, що призводить до звільнення великої кількості гормону.

Характерним для базедової хвороби є зовнішній вигляд хворих. Зокрема, витрішкуватість (екзофтальм), яка надає обличчю сердитого і дещо зляканого вигляду (вираз застиглого страху). Хворі різко худнуть, за кілька місяців можуть втратити 12-16 кг маси тіла.

В кінці минулого століття, коли не було знайдено надійних методів лікування тиреотоксикозу, більшість хворих важкою його формою помирала протягом 2-3 років. Тепер широко використовують лікарські препарати, що пригнічують діяльність щитоподібної залози (радіоактивний йод, похідні тіоурацилу і імідазолу), а також хірургічні методи.

Мікседема – виникає при гіпофункції щитоподібної залози і є діаметрально протилежним базедовій хворобі. Зокрема, гальмуються основні процеси обміну речовин, знижуються тиск крові і температура тіла. Хворі стають кволими і апатичними. Спостерігається загальна слабість, в'ялість, сонливість. Хворі постійно мерзнуть, шкіра стає сухою, злущується, особливо на ліктьових згинах і гомілках. Погіршується пам'ять. Температура тіла знижується до 35-36ºС, причому навіть інфекційні захворювання не викликають значного підвищення температури. Спостерігаються слизові набряки, одутлість обличчя та ін. Набряки при мікседемі відрізняються від серцево-судинних чи ниркових тим, що при натискуванні на набряклу ділянку не залишається слідів.

Якщо гіпофункція щитоподібної залози виникає в дитячому віці або в період внутрішньоутробного розвитку і супроводжується нестачею йоду, виникає захворювання, що має назву *кретинізм*. У таких дітей значно затримується ріст і розвиток. Ходити вони починають пізно – в 2-3 роки, порушується прорізування зубів. Обличчя в дітей одутле, вираз його байдужий, тупий, рот напіввідкритий, голос грубий, охриплий. Такі діти часто народжуються глухонімими.

При важкому протіканні хвороби з усіх емоцій залишаються лише відчуття голоду і болю. Виникає порушення психічної діяльності.

Крім цих захворювань, досить часто виникає ще один вид патології – ендемічний зоб. Причиною виникнення цієї хвороби є понижена здатність організму хворого засвоювати йод або нестача його в продуктах харчування і воді. Особливо часто це захворювання зустрічається в гірських та заболочених районах (в Україні ендемічна зона – Карпати).

Розрізняють п'ять стадій зобу. На першій і другій стадії щитоподібна залоза майже не збільшується. На третій – спостерігається незначне

потовщення шиї. На четвертій і п'ятій стадіях зоб іноді досягає великих розмірів, може утруднюватись дихання, порушуються деякі метаболічні процеси. На відміну від захворювання тиреотоксикозом, хворі не втрачають масу, відсутній екзофтальм, не підвишується температура тіла. Для профілактики цього захворювання проводять йодування кухонної солі (на 1 т солі 25 г KJ).

Тиреокальцитонін. Відкритий в 1963 році. Належить до поліпептидів, складається з 32 залишків амінокислот:

NH_2-Цит-Сер-Асп (NH_2)-Лей-Сер-Тре-Цис-Вал-Лей-Сер-Ала-Тир-
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

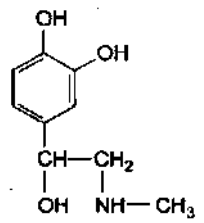
Тир-Арг-Асп (NH_2)-Лей-Асп (NH_2)-Асп (NH_2)-Фен-Гіс-Арг-
13 14 15 16 17 18 19 20 21

Фен-Сер-Глі-Мет-Глі-Фен-Глі-Про-Глу-Тре-Про-$CONH_2$.
22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

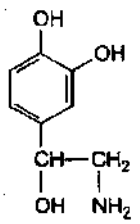
Має здатність знижувати вміст кальцію в крові. Гормон підтримує сталий рівень у крові кальцію і фосфору, сприяє переходу кальцію з крові в кісткову тканину, активує діяльність лужної фосфатази, посилює виділення фосфатів з сечею. Застосовують при лікуванні захворювань кісткової системи і зубів (пародонтозу).

Гормони мозкової частини наднирників. У мозковій речовині надниркових синтезуються два гормони – *адреналін і норадреналін.*

Їх називають катехоламінами – «гормонами настрою». Утворюються з амінокислот фенілаланіну і тирозину. Відрізняються тим, що адреналін – це метильований норадреналін:



Адреналін



Норадреналін

Адреналін *(*від латинського ad – при і renalis – нирковий). Є похідним амінокислоти адреналіну. Легко окиснюється на світлі в лужному середовищі. Секреція адреналіну посилюється у тих випадках, які вимагають адаптивної

перебудови метаболізму. Зокрема, при стресі він мобілізує внутрішні резерви організму, в зв'язку з чим дістав назву „аварійного" гормону.

Дія адреналіну: посилює процеси ферментативного розщеплення вуглеводів, насамперед глікогену в м'язах і печінці, що сприяє підвищенню вмісту глюкози в крові; посилює ліполіз і мобілізацію жирів із жирових депо; посилює білковий обмін і виведення із сечею азотистих сполук; підвищує вміст холестерину і фосфогліцеринів у крові, сприяє зниженню вмісту неорганічного фосфору у м'язах; посилює частоту і силу серцевих скорочень, підвищує тиск крові, розширює капіляри; послаблює гладеньку мускулатуру бронхів, кишок і сечового міхура; одним із кінцевих продуктів розпаду адреналіну є пігмент шкіри – меланін. При порушенні його утворення виникає «бронзова» хвороба.

В організмі є L-адреналін.

За фізичними властивостями адреналін – кристалічна речовина білого кольору, гірка на смак, важко розчинна у воді, нестійка, легко вступає в реакції окиснення і заміщення, оптично активна.

Норадреналін. Характеризується регуляторною та медіаторною дією. Впливає на різні ланки обміну речовин. Разом з адреналіном забезпечує мобілізацію внутрішніх резервів організму в екстремальних умовах, процеси адаптації організму. Антагоніст по відношенню до адреналіну за дією на судини.

При ураженні мозкової частини наднирників може спостерігатися гіперфункція її. Виникає надлишок гормонів, який супроводжується гіпертонією, гіперглікемією, глюкозурією, розвитком нефриту, атеросклерозу, порушенням мозкового кровообігу.

Препарати гормонів застосовуються при серцево-судинній недостатності, шоках, гіпоглікемічній комі.

Гормони гіпофізу. Гіпофіз – нижній придаток мозку, досить складний ендокринний орган. Враховуючи його функціональне значення, гіпофіз вважають своєрідним центром ендокринної системи.

У структурі гіпофізу розрізняють три зони: передню (аденогіпофіз), середню (інтермедіальна зона), задню (нейрогіпофіз). Кожна з цих зон виділяє

характерні для неї гормони, які регулюють ту чи іншу ланку обмінних процесів в організмі.

Англійський ендокринолог Т.Сміт, вивчаючи функції гіпофізу, виявив, що після видалення його у тварин спостерігається порушення функцій і атрофія деяких залоз внутрішньої секреції (щитоподібної, надниркових, статевих), порушується ріст і деякі обмінні процеси.

Разом з тим при пересадці гіпофізу порушені функції відновлюються. Отже, було встановлено, що гіпофіз виділяє речовини, які регулюють функціональну діяльність ряду ендокринних залоз, впливають на обмінні процеси в організмі.

Отже, вплив гіпофізу на різні ланки обміну речовин виявляється не безпосередньо, а опосередковано, впливаючи на функції інших ендокринних залоз, які перебувають під його регуляторною дією. Тому гормони гіпофізу мають назву тропних гормонів (від грецького tropos – напрямок).

Гормони передньої долі гіпофізу. *Соматотропний гормон (соматотропін), гормон росту в*иділений з екстрактів аденогіпофізу у 1921 році Г.Авансом і ДЖ.Лонгом. Має білкову природу і олігомерну структуру. Молекулярна маса його 23000-46000. Складається з одного поліпептидного ланцюга, який містить 191 залишок амінокислот. Має високу видову специфічність.

При надмірному виділенні гормону у молодому віці, до настання статевої зрілості і до завершення процесів формування кісткової тканини, спостерігається посилений ріст тіла людини, що призводить до *гігантизму* (ріст може досягати 2-2,5 м).

Надмірне виділення гормону росту в зрілому віці приводить до розвитку *акромегалії*. Ознаками захворювання є непропорційне розростання окремих частин тіла, надмірний ріст кісток кінцівок, голови, обличчя, розростання м’яких тканин – носа, губ, язика, підборіддя. Спостерігається надмірний ріст волосся на тілі, збільшуються внутрішні органи, спостерігається гіпертрофія деяких ендокринних залоз.

При недостатньому виділенні гормону (гіпосекреція) спостерігається сповільнення росту і, як наслідок, розвивається *карликовість.* Ріст при цьому не перевищує 0,9-1,2 м. Гіпофізарні карлики мають відносно пропорційну будову тіла, дещо збільшену голову. В розумовому розвитку вони не відрізняються від звичайних людей.

Соматотропін відіграє важливу роль в забезпеченні анаболічних процесів, сприяє синтезу білків і НК, збільшенню рівня глюкози в крові (діабетогенний ефект), посилює транспорт ряду сполук в клітини та їх засвоєння.

АКТГ – адренокортикотропний гормон. За хімічною природою АКТГ – поліпептид з молекулярною масою 2500. До його складу входить 39 залишків різних амінокислот (рис. 3.17).

Основна роль АКТГ полягає в прискоренні синтезу кортикостероїдів в корі надниркових залоз холестерину. Він може безпосередньо діяти на тканини різних органів, а також через кору надниркових залоз.

При недостатній секреції АКТГ виявляються всі характерні симптоми гіпофункції кори наднирників.

Рис. 3.17. Послідовність амінокислотних залишків в молекулах АКТГ людини

При гіперсекреції АКТГ виникає захворювання гіпофізарний базофілізм (хвороба Кушінга). Для цього захворювання характерним є гіперглікемія, демінералізація кісток, оволосіння обличчя, запалення сальних залоз.

Тиреотропний гормон (тиреотропін) **с**кладний білок-глікопротеїд з молекулярною масою з молекулярною масою 28000. Складається з двох субодиниць – ά і β, зв'язаних не ковалентними зв'язками. Чергування амінокислотних залишків в ά-субодиниці гормону кожного виду тварин однакове, а первинна структура β-субодиниць у різних видів тварин різна.

Активність гормону визначається властивостями β-субодиниці. Проте ця активність виявляється тільки після з'єднання ά і β субодиниць.

Гормон забезпечує нормальне функціонування щитоподібної залози – стимулює ріст і розвиток епітелію фолікулів щитоподібної залози. Під впливом тиреотропіну стимулюються процеси поглинання йодидів з крові, включення йоду до складу тиреоїдних гормонів та звільнення їх із залози.

В передній долі гіпофізу синтезуються так звані **гонадотропні гормони:**

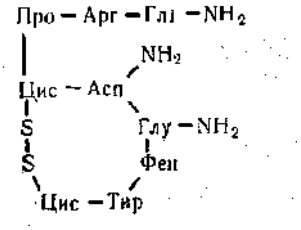
а) фолікулостимулюючий гормон (фолітропін). У самок стимулює ріст і дозрівання фолікулів яєчника, у самців – розвиток сперматогенного епітелію в сім'яниках і сперматогенез. Це складний білок-глікопротеїд з молекулярною масою до 67000. Містить азот, сірку, глюкозу та глюкозамін.

б) лактотропний гормон (пролактин, амматропін). Регулює материнський інстинкт, розвиток і функціонування молочної залози. Його застосовують при зниженій секреції молочної залози в післяпологовий період.

в) лютеїнізуючий гормон (лютропін). Стимулює у самок ріст фолікулів, їх дозрівання, овуляцію та утворення жовтого тіла. Цей гормон – глікопротеїд з молекулярною масою 40-100 тис. Містить такі амінокислоти як тирозин, триптофан, містить глюкозамін.

Гормони середньої долі гіпофізу. *Меланотропін г*ормон, який регулює пігментацію шкіри у тварин. За своєю хімічною природою – поліпептид, містить 13-22 амінокислотні залишки, молекулярна маса 2000. Є два види – ά і β. ά-меланотропін складається з 13 амінокислотних залишків, β – з 18. Альфа-меланотропін має однакову будову у різних видів тварин, а бета – має видову специфічність.Меланотропін стимулює діяльність меланофорів, активує біосинтез родопсину, сприяє адаптації ока до темряви і підвищує гостроту зору.

Гормони задньої частки гіпофізу (нейрогіпофізу). *Вазопресин (антидіуретичний гормон) – ц*иклічний пептид, складається з 9 залишків амінокислот:

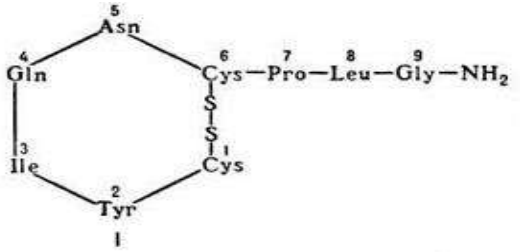


Добре розчиняється у воді. Забезпечує діяльність однієї із найважливіших функціональних систем організму –

системи регуляції водного обміну. Вазопресин стимулює зворотне всмоктування води в ниркових канальцях.

При пошкодженнях нейрогіпофізу зменшується виділення гормону, внаслідок чого розвивається захворювання, що має назву „нецукрового діабету”. Хворі відчувають постійну спрагу, разом з тим значно підвищується виділення сечі. При важких формах захворювання людина випиває до 20 літрів води за добу і стільки ж виділяється сечі (поліурія).

Окситоцин (оцитоцин). Циклічний пептид, який складається з 9 залишків амінокислот.

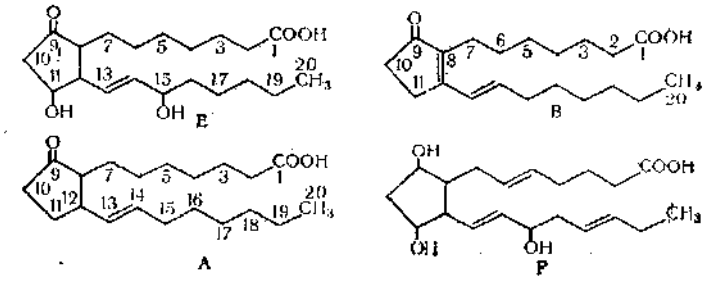


Молекулярна маса – 1000. Підвищує тонус гладеньких м’язів, особливо матки. Назва гормону походить від грецького «швидко народжую». Секреція і активність окситоцину залежить від функціонального стану організму – під час вагітності вони значно зменшуються, а під час пологів збільшуються. В гінекологічній практиці гормон широко використовують для стимуляції родової діяльності.

Окситоцин сприяє також скороченню м’язів кишок, сечового міхура, стимулює секрецію молока активацією гормону аденогіпофізу пролактину.

Гормоноїди (парагормони). Крім гормонів, виділяють групу гормоноїдів (парагормонів) – *різнорідні за хімічною будовою речовини, які мають сильну біологічну дію на багато фізіологічних процесів в організмі; на відміну від гормонів, біосинтез їх немає строгої локалізації і, крім того, вони виявляють короткочасну біологічну дію.*

Найважливішими серед гормоноїдів є *простагландини.* Відкриті у 1936 році Ульфом ван Ейлером в сім’яній рідині людини. Їх виділили з екстрактів простати, звідки вони і дістали свою назву. В наш час відомо більше 20 природних простагландинів. Їх поділяють на чотири основні групи: E, A, B і F. Індивідуальні представники в кожній групі різняться між собою числом подвійних зв’язків у бічних ланцюгах:



Їх попередниками є ненасичені жирні кислоти: лінолева, ліноленова, арахідонова та ін. Мають високу ступінь метаболізму. За біологічною дією простагландини відносяться до «місцевих», або клітинних гормонів.

Місцеві гормони – гормони, які виробляються в окремих органах і впливають на ці самі органи.

Простагландини в скелетних м’язах посилюють глікогеноліз, в жировій тканині – ліполіз, в надниркових залозах – стимулюють синтез стероїдних гормонів. Використовуються в медичній практиці для стимуляції родової діяльності, для лікування бронхітів, артритів, тромбозів, виразки шлунку.

Крім простагландинів, до гормоноїдів відносяться:

- *гормоноїди травного каналу:*

а) гастрин – виробляється слизовою оболонкою шлунку. Сприяє виділенню шлункового соку, соку підшлункової залози, жовчі, підвищує тонус шлунку і кишок;

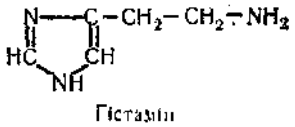
б) секретин – виробляється клітинами слизової оболонки тонкого кишечника під впливом соляної кислоти шлунку. Стимулює виділення підшлунковою залозою води та гідрокарбонатів;

в) панкреозимін – виробляється слизовою оболонкою тонкого кишечника. Сприяє виробленню ферментів і гідрокарбонатів підшлунковою залозою;

г) холецистокінін – виробляється слизовою оболонкою тонкої кишки. Скорочує м’язи жовчного міхура і сприяє виділенню жовчі у 12-палу кишку.

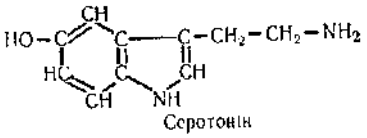
- *нейрогормони – синтезуються в нейросекреторних клітинах:*

а) гістамін – похідний амінокислоти гістидину (утворюється при її декарбоксилуванні).

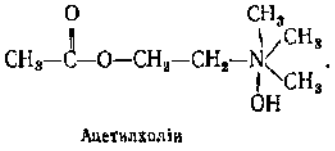

Гістамін

Виробляється клітинами шкіри, легень, травного каналу. Основна його функція – гуморальне збудження секреції соляної кислоти в шлунку. Посилює також тонус мускулатури, розширює кровоносні судини і знижує тиск крові;

б) серотонін – утворюється в ЦНС, клітинах слизової оболонки кишок і підшлункової залози в результаті окислення і наступного декарбоксилування амінокислоти триптофану.


Серотонін

Є медіатором нервового імпульсу в нервових центрах і в периферичних нервових волокнах;


Ацетилхолін

в) ацетилхолін – синтезується в ЕПС багатьох нейронів центральної і периферичної нервової системи. Утворюється при подразненні закінчень парасимпатичних нервових волокон і є медіатором передачі нервових імпульсів від нервових волокон на м'язи.

- *гормоноїди – регулятори тиску крові:*

а) ангіотензини – поліпептиди, які утворюються з β-глобулінів крові. Місце їх дії – ниркові артерії. При гіперінкреції виникає ниркова гіпертонія;

б) кініни – поліпептиди, утворені в різних органах і тканинах. Розширюють просвіт кровоносних судин, збільшують швидкість кровотоку, посилюють роботу серця і легень, сприяють зниженню тиску крові, підвищують проникливість капілярів.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Загальна характеристика гормонів.
2. Класифікація гормонів за хімічною природою.
3. Гормони гіпофізу, хімічна природа, біологічна роль.
4. Гормони щитоподібної залози, хімічна природа, біологічна роль.
5. Гормони кори наднирників, хімічна природа, біологічна роль.
6. Гормони мозкового шару наднирників, хімічна природа, біологічна роль.
7. Жіночі статеві гормони, хімічна природа, біологічна роль.
8. Чоловічі статеві гормони, хімічна природа, біологічна роль.

ТЕМА 4. МЕХАНІЗМИ ПЕРЕТВОРЕННЯ І ОКИСНЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН В ЖИВИХ ОРГАНІЗМАХ

4.1. Біологічне окиснення

Історія дослідження біологічного окиснення. Асиміляція та дисиміляція нерозривно пов'язані з обміном енергії. Основним джерелом енергії в організмі є процеси біологічного окиснення. *Біологічне окиснення – це сукупність окисно-відновних реакцій, які протікають у всіх живих клітинах, пов'язані зі споживанням організмом кисню, вивільненням хімічної енергії, виділенням вуглекислого газу і води.*

Основною функцією даного процесу є забезпечення організму енергією в доступній для використання формі (перш за все у вигляді АТФ). Оскільки при такому окисненні проходить постійне поглинання кисню, цей процес одержав назву «тканинне дихання».

Під час тканинного дихання одна з речовин окиснюється, інша – відновлюється.

Окиснюваною речовиною, або субстратом, вважають ту речовину, яка в ході хімічних реакцій втрачає протони і електрони або приєднує Оксиген. Речовина, яка приєднує протони і електрони або втрачає Оксиген, вважається *відновленою.*

Протони і електрони називають *відновними еквівалентами.* Вони переносяться від однієї сполуки – *донора* – до іншої – *акцептора.* У аеробів кінцевим акцептором відновних еквівалентів є кисень. Субстратами клітинного дихання є продукти розщепленя основних поживних речовин, і кисень.

Основи вчення про окиснення закладені М.В. Ломоносовим і А.-Л.Лавуазьє при дослідженнях процесів горіння.

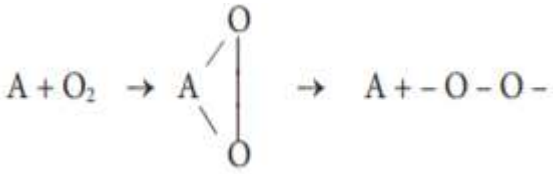
Співставляючи процеси горіння з процесами дихання тварин, А.-Л.Лавуазьє звернув увагу на схожість між ними. При диханні, як і під час горіння, має місце поглинання з повітря кисню і виділення вуглекислого газу і води.

Але між горінням і біологічним окисненням є цілий ряд відмінностей:

Горіння	Біологічне окиснення
Проходить за межами організму	Відбувається в живому організмі
Перешкоджає наявність води	Як кінцевий продукт утворюється вода
Зажди супроводжується підвищенням температури	Проходить при температурі тіла
Енергія виділяється дуже швидко у вигляді тепла і світла	Енергія звільняється повільно і акумулюється в макроергічних сполуках (переважно у вигляді АТФ)

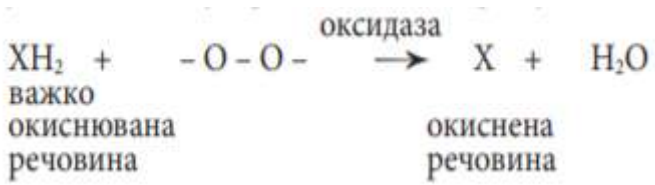
Сучасна теорія біологічного окиснення ґрунтується на двох теоріях – теорії перекисного окиснення (теорія О.М.Баха) і теорії дегідрування (теорія В.І. Палладіна).

Теорія перекисного окиснення (теорія О.М. Баха). Запропонована в 1897 році О.М.Бахом. Вчений вважав, що окиснення органічних речовин молекулярним киснем в організмі відбувається з утворенням перекисів. Але з'єднання органічних речовин з киснем проходить після активування кисню (не O=O, а – O – O -). Активування кисню проходить при допомозі ферменту оксигенази. Кисень, з'єднуючись з оксигеназою, утворює перекис. Якщо позначити оксигеназу А, то цей процес схематично можна записати так:



перекис

Активний кисень має здатність окиснювати молекули інших органічних сполук, які з молекулярним киснем не реагують:



Значний внесок у розуміння процесів біологічного окиснення зробив російський біохімік В. І. Палладін. Вивчаючи окиснення речовин у рослинах, він встановив, що цей процес може відбуватися і при відсутності кисню, якщо в реакційному середовищі є речовини, які мають здатність приєднувати водень.

В 1912 році В. І.Палладін висунув *теорію дегідрування* – від речовини відщеплюється водень, потім він окиснюється киснем і утворює воду.

Сучасна теорія біологічного окиснення. Сучасна теорія біологічного окиснення включає і процес утворення перекисів, і процес дегідрування. Біологічне окиснення – процес ферментативний і поетапний.

Перший етап – дегідрування субстратів. Проходить при участі ферментів дегідрогеназ (ферменти з класу оксидоредуктаз; білкова частина представлена амінокислотами, а простетична група – НАД).

Водень, який відщеплюється від субстрату, приєднується до НАД і утворює $НАДН_2$.

Субстрат при цьому окиснюється, а фермент – відновлюється.

У другому етапі окиснення беруть участь флавінові ферменти (простетична група в них представлена фосфорним ефіром вітаміну $В_2$). В окисненій формі вітамін $В_2$ має жовтий колір. Тому ферменти і називають „жовті дихальні ферменти”.

Водень від $НАДН_2$ переноситься на флавінові ферменти. З них водень може окиснюватись киснем і утворювати воду.

Третій етап окиснення – перенесення електронів і протонів від відновлених флавінових ферментів на убіхінони (коензим Q):

$ФФ \cdot Н_2$ + Убіхінон → Убіхінон$\cdot Н_2$ + ФФ.

Четвертий етап – з коензиму Q протони атомів водню переходять в навколишнє середовище, а електрони поступають на цитохромну систему. Цитохромна система складається з ряду оксидоредуктаз, небілковою частиною яких є залізопорфірини, близькі за своєю будовою до гему.

Відомо понад 20 цитохромів. Вони позначаються відповідними латинськими буквами - a, b, c, d і т. д.

Цитохромна система приймає електрони послідовно на цитохроми b, c, a і a_3. Під час перенесення електронів почергово відбувається відновлення заліза ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$) і окиснення заліза ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) цитохромів аж до ЦХО (цитохромоксидази – ферменту aa_3). ЦХО передає електрони молекулярному кисню, активуючи його (рис. 4.1).

Кисень взаємодіє з йонами водню, які знаходяться в середовищі, утворюючи воду.

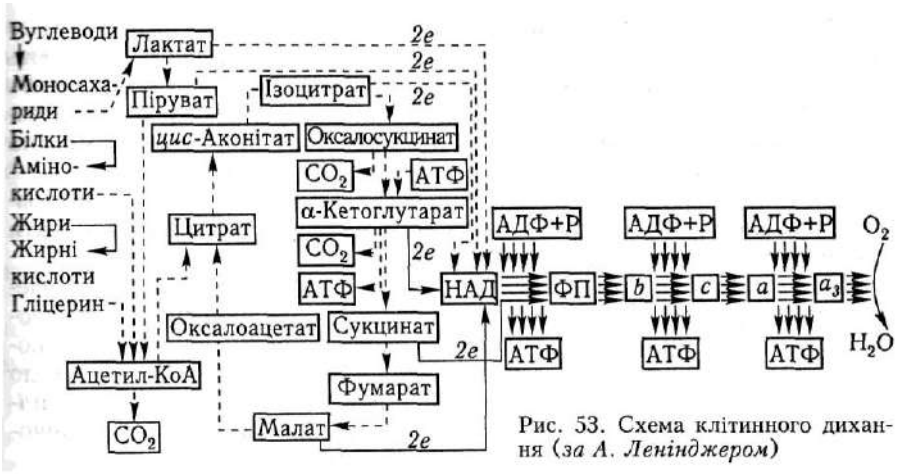


Рис. 4.1. Схема клітинного дихання (за Ленінжером)

Кінцевий продукт біологічного окиснення – вода. Крім води, утворюються вуглекислий газ і виділяється хімічна енергія. Вуглекислий газ може витрачатись на карбоксилування. Хімічна енергія акумулюється у вигляді АТФ.

У дихальному ланцюгу створюється своєрідний електронний каскад. Послідовність розміщення основних компонентів дихального ланцюга визначається співвідношенням швидкості окиснення і відновлення окремих компонентів системи, а також величиною редокс-потенціалів, що виникають між сусідніми компонентами. Величина редокс-потенціалу показує напрям перенесення електронів у дихальному ланцюгу.

Перенесення електронів здійснюється завжди від меншого потенціалу до більшого, тобто в дихальному ланцюзі відбувається поступове збільшення редокс-потенціалу від початкової ланки до кінцевої (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1

Значення нормальних редокс-потенціалів E_o в дихальному ланцюзі (pH = 7, t = 38°C)

Біологічна система	E_0
Субстрати $\rightleftarrows 2H^+ + 2e$	Від 0 до −0,62
НАД · $H_2 \rightleftarrows$ НАД + $2H^+ + 2e$	−0,32
ФФ · $H_2 \rightleftarrows$ ФФ + $2H^+ + 2e$	Від −0,06 до −0,1
Цитохром *b* $\rightleftarrows$ Цитохром *b* + *e*	−0,04
Цитохром *c* $\rightleftarrows$ Цитохром *c* + *e*	+0,26
Цитохром *a* $\rightleftarrows$ Цитохром *a* + *e*	+0,29
ЦХО $\rightleftarrows$ ЦХО	+0,50
$H_2O \rightleftarrows 1/2O_2 + 2H^+ + 2e$	+0,815

Примітка. Значення редокс-потенціалу виражене через ЕРС E_0.

В процесі клітинного дихання крім води утворюється вуглекислий газ і виділяється хімічна енергія. Вуглекислий газ витрачається на карбоксилування, зокрема на утворення щавлевооцтової кислоти. Хімічна енергія акумулюється у вигляді АТФ.

Окисне фосфорилування. У процесі біологічного окиснення більше 50% енергії, яка виділяється, резервується клітинами тканин у вигляді макроергічних сполук, переважно у вигляді АТФ. Джерелами утворення макроергічних сполук є продукти вуглеводного, ліпідного та білкового обмінів. Близько 50% енергії розсіюється у вигляді теплоти. Різні ланки дихального ланцюга мають неоднаковий запас енергії. *Процес утворення енергії в результаті біологічного окислення називається* окисне фосфорилування. Окисне фосфорилування відкрив В.О. Енгельгардт в 1930 році. Під час цього процесу виникає макроергічний зв’язок, багатий на енергію. За пропозицією Ф.Ліпмана (1946) цей зв'язок позначається символом «тильда» (~). Ферменти клітинного дихання і спряженого з ним окисного фосфорилування зосереджені переважно в мітохондріях.

Крім окиснення, поєднаного з фосфорилуванням, у тканинах відбувається дихання без фосфорилування – вільне, або нефосфорилююче, тканинне дихання. В цьому випадку функціонує лише дихальний ланцюг. Виникає теплова енергія, необхідна для підтримання нормальної температури і повноцінного перебігу багатьох реакцій обміну речовин. Під час охолодження

організму дихання тканин, спряжене з фосфорилуванням, пригнічується, а вільне дихання зростає (1969, С.Є.Северин). При нормалізації зовнішньої температури проходить зворотне явище.

Приблизно 5% всієї води, що утворюється при біологічному окисненні, знаходиться у формі перекису водню (H_2O_2), який є токсичним для організму. У медицині перекис водню використовують як дезинфікуючий засіб при лікуванні гнійних ран. При розщепленні перекису водню утворюється атомарний кисень.

Утворення вуглекислого газу раніше вважали простим сполученняя вуглецю і кисню: $C + O_2 \rightarrow CO_2$.

Але в організмі цього не відбувається, тому що для цього потрібна висока температура. В організмі людини і тварини CO_2 утворюється внаслідок декарбоксилування кетокислот, амінокислот, жирних кислот. Даний процес – ферментативний.

Окисне фосфорилування проходить головним чином в мітохондріях. Тому мітохондрії називають «силовими станціями клітини». Розміри цих важливих органоїдів клітини 0,5-7 мкм. Їх середня кількість у клітинах коливається від 50 до 5000. Мітохондрії мають зовнішню і внутрішню мембрану. Від внутрішньої мембрани в порожнину мітохондрії відходять вирости – кристи або гребені. Ферменти, які каталізують процес окисного фосфорилування, зосереджені на мембранах мітохондрій.

Існує кілька теорій окисного фосфорилування. Найбільш поширеними з них є хімічна і хеміосмотична.

Хімічна теорія. Її запропонував Ф. Ліпман та деякі інші дослідники. Згідно з цією теорією енергія, яка виділяється при перенесенні електронів в дихальному ланцюгу, спочатку використовується для утворення певних гіпотетичних, багатих на енергію сполук, а потім передається для синтезу АТФ. Ця гіпотеза до цього часу не дістала експериментального підтвердження.

Хеміосмотична теорія. Запропонована у 1961 році дослідником П.Мітчеллом. Експериментальне обґрунтування і подальший розвиток вона отримала в дослідженнях В.Скулачова.

Суть гіпотези зводиться до того, що хімічна енергія окиснення перетворюється в електрохімічні потенціали на зовнішній і внутрішній поверхнях мітохондріальної мембрани. Різниця між такими потенціалами є джерелом енергії, завдяки якій проходить синтез АТФ. Ця гіпотеза порівняно з іншими є найбільш обґрунтованою, хоч і має чимало нез'ясованих питань, які вимагають подальшого дослідження.

Макроергічні сполуки організму – це сполуки, в яких акумулюється велика кількість енергії («макрос» – багато, «ергос» – енергія). При розриві або утворенні хімічних зв'язків у сполуках постійно змінюється рівень вільної енергії системи (ΔG). Якщо величина зміни вільної енергії становить від 12-17 кДж/моль, такі сполуки в енергетичному відношенні називають *нормальними.* Якщо ж величина зміни вільної енергії більша за 20-25 кДж/моль, такі сполуки називаються *макроергічними.* Характерним є те, що в цих сполуках макроергічні зв'язки локалізуються переважно між атомами фосфору і сірки. Основна макроергічна сполука – АТФ: А – рибоза – Р ~ Р ~ Р.

До інших макроергічних сполук належать АДФ; креатинфосфат (КрФ), якого багато у скелетних м'язах, серці, мозку, нервовій тканині; аргінінфосфат (міститься в організмі жаб, ящірок); ацетилфосфат; 1,3-дифосфогліцеринова кислота; фосфопіровиноградна кислота. При гідролізі КрФ в організмі перетворюється на креатин. Біологічна роль КрФ полягає у підтриманні в тканинах сталого вмісту АТФ. Кінцевим продуктом обміну КрФ є креатинін, який утворюється при спонтанному неферментативному гідролізі КрФ і виділяється з сечею.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Основні положення теорії перекисного окиснення.
2. Основні положення теорії дегідрування.
3. Характеристика НАД–залежних ферментних систем.
4. Характеристика ФАД–залежних дегідрогеназних систем.
5. Характеристика коферменту Q та системи цитохром.
6. Характеристика макроергічних сполук клітини. АТФ – ключова сполука енергетичного обміну.

4.2. Обмін вуглеводів

Перетравлювання та всмоктування вуглеводів. Обмін вуглеводів – складова частина загального обміну речовин та енергії в організмі. Включає такі етапи: перетравлювання, всмоктування, проміжний обмін, виведення кінцевих продуктів обміну.

В організмах людини і тварин немає механізмів, здатних синтезувати вуглеводи з неорганічних речовин, подібно до зелених рослин, в яких протікають реакції фотосинтезу. Тому для забезпечення потреб організму необхідне постійне надходження їх з продуктами харчування. Основним джерелом вуглеводів є харчові продукти рослинного походження, в яких містяться крохмаль, клітковина, сахароза, глюкоза. В харчовому раціоні тварин найбільше значення має клітковина.

Вуглеводи, які потрапляють в організм у вигляді полі- і дисахаридів, не можуть використовуватись безпосередньо. Засвоєння цих речовин стає можливим лише після їх розщеплення до моносахаридів.

Розщеплення вуглеводів – ферментативний процес і проходить при участі ферментів з класу гідролаз, підкласу глікозидаз (амілолітичних ферментів).

Процес розщеплення вуглеводів починається в ротовій порожнині, куди впадають протоки трьох пар великих слинних залоз (привушних, підщелепних, під'язикових) і великої кількості дрібних залоз, розташованих на поверхні язика і в слизовій оболонці щік та піднебіння. Ці дрібні залози, а також під'язикові залози постійно виробляють рідку слину, привушні і підщелепні залози виділяють свої секрети лише при їх рефлекторному подразненні.

Слина – безбарвна, трохи мутнувата рідина. Її основним органічним компонентом є ферменти *амілаза* (розщеплює крохмаль і глікоген до дисахариду мальтози) і *мальтаза* (ά-глюкозидаза), яка розщеплює мальтозу до моносахариду глюкози.

У природі виявлено ά, β, γ-амілази, кожна з яких вузько специфічна і спеціалізована. Так, ендофермент ά-амілаза каталізує розщеплення 1-4 і 1-6 глікозидних зв'язків всередині молекули полісахаридів. Під її впливом крохмаль розщеплюється до декстринів.

Декстрини – продукти неповного (проміжного) гідролізу крохмалю. Вони діляться на амілодекстрини (з йодом дають синьо-фіолетове забарвлення), еритродекстрини (з йодом дають червоно-буре забарвлення), ахродекстрини (з йодом дають жовто-буре забарвлення), мальтодекстрини (з йодом забарвлення не дають). Перспективним напрямком в дієтології є використання декстринів для зв'язування та виведення з організму важких металів, нуклідів, отруйних речовин.

Наступний продукт, який утворюється при гідролізі крохмалю, – дисахарид мальтоза. Послідовне відщеплення від кінця молекули полісахариду мальтози здійснюється за допомогою β-амілази, яка інтенсифікує гідроліз 1,4 зв'язків. Гама-амілаза – відщеплює від полісахариду по одній молекулі глюкози.

Амілаза слини складається в основному з ά-амілази. Її ще називають птіаліном або діастазою.

Крім амілази, в слині міститься фермент мальтаза (ά-глікозидаза), яка розщеплює мальтозу на дві молекули глюкози. Тому при тривалому перебуванні вуглеводної їжі у порожнині рота відчувається солодкий смак.

Важливим є той факт, що на вміст ферментів у слині впливає склад їжі. Так, у слині хижаків, які харчуються м'ясом, амілаза практично відсутня. У людей, які споживають їжу, багату на вуглеводи, вміст амілази у слині вищий, ніж у тих, які споживають бідну на вуглеводи їжу.

В слині містяться також мукополісахариди і глікопротеїни (муцин, специфічні білки крові тощо), імуноглогуліни, незначна кількість білків плазми крові, йони натрію, калію, кальцію, хлору та інші. Високу бактерицидну властивість слини забезпечує фермент ліцозим. Своєрідний слизистий вигляд слини зумовлений присутністю в ній муцину. До щільного залишку слини (0,5-1,5 %) окрім муцину входять ферменти, глобулін, амінокислоти, креатинін, сечова кислота, сечовина та неорганічні солі.

Реакція слини (pH 5,8-7,8) залежить від інтенсивності її секреції: при великих об'ємах секреції вона слаболужна, при незначних – слабокисла. Слина

завжди гіпотонічна. Це зумовлено процесами активної секреції і реабсорбції в протоках слинних залоз.

В залежності від характеру їжі упродовж доби слинні залози виробляють 0,5-2,0 л слини. На суху їжу завжди виділяється більше слини, ніж на вологу.

Їжа в ротовій порожнині знаходиться 1-5 хвилин. Ферменти частково розщеплюють вуглеводи їжі. Основна маса полісахаридів не змінюється і надходить у шлунок. Встановлено, що найбільша активність амілази в слині людини, найменша – в слині собак і котів.

З порожнини рота їжа потрапляє в шлунок, де дія амілази слини може тривати лише 20-30 хвилин, поки харчова маса не набуде кислого характеру. Зміна pH середовища (pH шлункового соку дорівнює 1,5-2) повністю ін активує фермент, оптимальна каталітична дія якого проявляється лише при pH=6,8-7,2.

Повністю вуглеводи перетравлюються в тонкому під дією соку підшлункової залози і кишкового соку.

В тонкому кишечнику полісахариди (крохмаль, глікоген, інулін) та їх похідні (декстрини) під впливом ά-амілази розщеплюються до дисахаридів:

$2(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow 2nC_{12}H_{22}O_{11}$.

Подальше розщеплення дисахаридів здійснюється різними ферментами. Наприклад, солодовий цукор (мальтоза) розщеплюється під впливом ферменту мальтази: $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2C_6H_{12}O_6$.

Лактоза і сахароза розщеплюються лактазою (β-галактозидазою) і сахаразою, або інвертазою (β-фруктофуранозидазою):

лактаза

$C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$;

Лактоза Галактоза Глюкоза

інвертаза

$C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$;

Сахароза Глюкоза Фруктоза

Під впливом цих ферментів вуглеводи розщеплюються до моносахаридів. Доведено, що розщеплення дисахаридів відбувається не лише в тонкому

кишечнику, а й на мембранах епітеліальних клітин слизової оболонки, де локалізовані відповідні ферменти. Цей вид травлення досліджував А.М.Уголєв. За його пропозицією, воно дістало назву *пристінкового травлення.*

В організмі людини не розщеплюється клітковина. Однак вона повинна бути обов'язковим компонентом харчового раціону, оскільки є важливим стимулятором секреторної і моторної функцій кишок і необхідна для формування калу. При тривалій відсутності в харчовому раціоні клітковини може розвиватись атонія кишечнику (відсутність перистальтики кишечнику).

Вуглеводи всмоктуються в кров у вигляді моноцукрів (переважно глюкози, а також фруктози і галактози) з допомогою механізмів активного і пасивного транспорту. Пасивний транспорт глюкози проходить значно повільніше, ніж активний. Особливістю активного транспорту глюкози є його залежність від концентраційного градієнту натрію, який досягається роботою натрієвої помпи, що відкачує йони натрію з клітини.

Більш швидке надходження глюкози в кров здійснюється шляхом її фосфорилування (утворення комплексних сполук з фосфорною кислотою). Цей процес відбувається в слизовій оболонці кишечнику. Він значно активізується при надходженні в кров гормону підшлункової залози – інсуліну.

Швидкість всмоктування різних моносахаридів різна. Якщо умовно прийняти швидкість всмоктування глюкози за 100%, то для галактози ця величина становитиме 110%, для фруктози – 43, манози – 19, ксилози – 15, арабінози – 9%. З наведених даних видно, що гексози всмоктуються швидше, ніж пентози, хоча останні мають меншу молекулярну масу. Відмінність у швидкості всмоктування зумовлена різними механізмами їх перенесення через мембрани клітин кишкового епітелію. Вважають що маноза, ксилоза і арабіноза всмоктуються переважно шляхом дифузії, а інші моносахариди – за рахунок активного транспорту.

Механізм всмоктування вуглеводів пояснює теорія переносників. Згідно із цією теорією, перенесення моносахаридів здійснюється за участю спеціальних білків з молекулярною масою 10-30 тис. Вони знаходяться на мембранах мікроворсинок. На зовнішній мембрані епітеліальних клітин утворюється

комплекс моносахарид – переносник, який доставляється через мембрану всередину клітини. Тут комплекс розщеплюється, і переносник транспортується в зворотному напрямку, а моносахарид потрапляє в кров'яне русло. Процес активується йонами Na^+, які створюють натрієву помпу, яка забезпечує активне транспортування моносахаридів через мембрани. Необхідна для перебігу цих процеів хімічна енергія утворюється в мітохондріях.

Під час всмоктування частина моносахаридів (фруктоза, маноза, галактоза) ізомерізуються і перетворюються в глюкозу. Цей процес відбувається в присутності H_3PO_4 і ферментів з класу ізомераз (гексокіназа, ізомераза, фосфатаза). Зокрема, ізомерізація фруктози до глюкози проходить за такою схемою:

Фруктоза + АТФ $\xrightarrow{\text{Гексокіназа}}$ Фруктозо-6-фосфат + АДФ;

Фруктозо-6-фосфат $\underset{\text{Ізомераза}}{\rightleftarrows}$ Глюкозо-6-фосфат;

Глюкозо-6-фосфат $\xrightarrow{\text{Фосфатаза}}$ Глюкоза + H_3PO_4.

Перетворення галактози на глюкозу відбувається дещо складніше:

Галактоза + АТФ $\xrightarrow{\text{Галактокіназа}}$ Галактозо-1-фосфат + АДФ;

Галактозо-1-фосфат + УДФ-Глюкоза $\underset{\text{Гексозо-1-фосфат-уридилтрансфераза}}{\rightleftarrows}$ УДФ-Галактоза + Глюкозо-1– фосфат;

УДФ-Галактоза $\underset{\text{УДФ-Глюкозо-епімераза}}{\rightleftarrows}$ УДФ-Глюкоза.

Певна кількість вуглеводів (4,5-6,6 ммоль/л) постійно циркулює в крові та інших рідинах організму (лімфі, ліквор) і є досить важливим і необхідним компонентом внутрішнього середовища організму. Майже 90% всіх моносахаридів крові припадає на глюкозу, яка завдяки своїм властивостям займає особливе місце в метаболічних реакціях організму і є важливим енергетичним джерелом, особливо для клітин нервової системи.

Крім глюкози, в крові містяться також незначна кількість фруктози, пентоз, а також речовини, які подібно до глюкози проявляють відновні властивості (глутатіон, сечова кислота, креатинін). Сума цих речовин, що визначаються разом з глюкозою, має назву «цукор крові».

Моносахариди крові використовуються для різних потреб. Близько 3-5% всієї глюкози йде на синтез глікогену, 30-35% - на синтез ліпідів, 60-70% – як джерело енергії, невелика кількість – на утворення вітаміну С (в людини вітамін С з глюкози не утворюється).

Слід відмітити, що в товстому кишечнику частина полісахаридів, яка не зазнала гідролізу, розщеплюється під впливом мікроорганізмів. Продукти, які утворюються при цьому, всмоктуються слизовою оболонкою в кров'яне русло. При недоброякісному харчуванні, харчуванні з надмірним вмістом білків та деяких захворюваннях травного каналу під дією гнильних мікроорганізмів в товстому кишечнику утворюються продукти гниття, які, всмоктуючись у внутрішнє середовище, чинять на організм токсичну дію. Значна частина речовин, які не зазнали впливу ферментів травного тракту, піддаються дії ферментів мікроорганізмів і виводяться у зовнішнє середовище разом з калом.

На швидкість всмоктування вуглеводів впливають нервові і гуморальні чинники: парасимпатичні нервові імпульси посилають всмоктування, симпатичні – гальмують.

Всмоктування глюкози активується гормонами наднирників, гіпофізу, щитоподібної і підшлункової залоз, серотоніном, ацетилхоліном. Гальмують всмоктування глюкози гістамін і соматотропін.

Надходячи з крові до печінки, більша частина моноцукрів перетворюється в глікоген, інша, значно менша, розноситься по всьому організму і використовується як джерело енергії для підтримки життєдіяльності клітин організму.

Метаболізм глікогену. Ще Клод Бернар у 50-х роках XIX століття виявив, що в печінці є особлива речовина, яка може перетворюватись в глюкозу. Цю речовину він назвав глікогеном. Глікоген синтезується і відкладається як запасний вуглевод в клітинах печінки. При необхідності він може легко розпадатись, – глікогенна функція печінки – здатність глікогену і розпадатись, і синтезуватись в печінці.

Цей глікогенний запас лишається в печінці недоторканим до тих пір, поки вистачає глюкози в організмі. При зменшенні кількості глюкози в крові

(гіпоглікемія) в печінці активізуються процеси розпаду глікогену. Глюкоза переходить у кров, і вміст цукру в крові знову нормалізується. Будь-який орган при новій потребі у вуглеводах знову забирає глюкозу із крові, і знову в кров переходить глюкоза з печінки (якщо там є ще запаси глікогену).

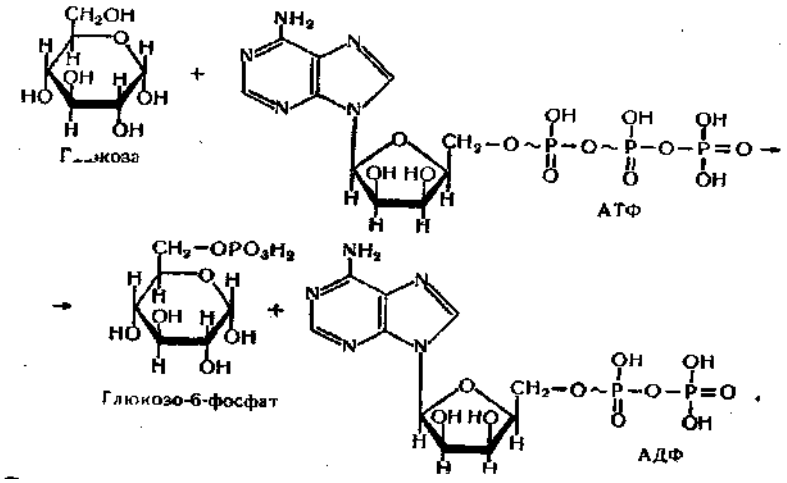
Про те, що клітини печінки дійсно можуть синтезувати глікоген з інших простіших вуглеводів, видно з такого досліду. Якщо тварин (наприклад, кроликів), тримати на голодній дієті або примусити виконувати важливу фізичну роботу, то кількість глікогену в їх печінці зменшиться аж до нуля. Коли ж потім таких тварин нагодувати глюкозою або сахарозою, то через шість годин вміст глікогену в їх печінці буде більшим, ніж на початку експерименту. Таким чином, відсутність надходження вуглеводів в організм з їжею, як і значні їх витрати на м’язову роботу, з наступним введенням в організм моноцукрів сприяє відновленню глікогену до величин більш вислких, ніж це було до експерименту. Це явище над відновлення (суперкомпенсації) широко використовується спортсменами легкоатлетами для розвитку загальної витривалості.

Крім печінки, де нагромаджується у вигляді зерен і глибок 15-20% глікогену від загальної сухої маси органу, цей полісахариди є також в м’язах (0,2-2,0%), у нервовій тканині (0,15% від загальної сухої маси).

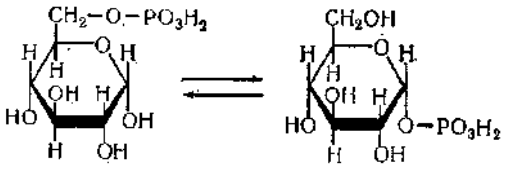
Глікоген в печінці синтезується не лише із глюкози *(глікогенез)*, а і з інших сполук – *гліконеогенез* (від слова глюкоза та грецького neos – новий і genesis – виникнення). Попередниками глікогену в цьому процесі є моносахариди (фруктоза, маноза, галактоза), амінокислоти (гліцин, аланін, серин, треонін, валін), молочна кислота, ПВК, гліцерин.

Гліконеогенез є досить важливим анаболічним процесом синтезу вуглеводів в організмах людини, вищих тварин та ряду бактерій. У фото-синтезуючих організмів він відіграє другорядну роль.

Синтез глікогену із глюкози – поетапний і ферментативний процес. На першому етапі глюкоза в присутності АТФ і ферменту гексокінази (фосфоферази) утворює фосфорний ефір – глюкозо-6-фосфат. Цей процес називають *фосфорилуванням глюкози:*



На другому етапі глюкозо-6-фосфат під впливом ферменту фосфоглюкомутази (клас ізомераз) ізомерізується і перетворюється в глюкозо-1-фосфат:



На третьому етапі глюкозо-1-фосфат конденсується під впливом ферменту фосфорилази і утворює молекулу глікогену. Конденсація йде шляхом поступового нарощування ланцюга.

Глюкоза перетворюється в глікоген під впливом інсуліну. Чимало глікогену знаходиться в крові і інших рідинах організму. Кількість глікогену у м'язах збільшується при надмірному споживанні вуглеводної їжі і виконанні упродовж тривалого часу напруженої роботи динамічного характеру.

Крім синтезу, в організмі постійно відбувається процес розпаду глікогену шляхом гідролізу та фосфоролізу.

В шлунково-кишковому тракті глікоген розпадається шляхом *гідролізу* (при наявності води) в присутності ферментів амілази і мальтази.

амілаза

$$(C_6H_{10}O_5)_n + H_2O \rightarrow (C_6H_{10}O_5)_x + nC_{12}H_{22}O_{11}$$

глікоген декстрини мальтоза

мальтаза

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2C_6H_{12}O_6$$

В печінці і м’язах глікоген розпадається шляхом фосфоролізу. Механізм цього процесу відкрив у 1937 році Я. Парнас).

Фосфороліз глікогену (глікогеноліз) – процес, зворотній глікогенезу, відбувається зворотнім до глікогенезу шляхом, у три етапи.

фосфорилаза

Перший етап: глікоген → глюкозо-1-фосфат

фосфоглюкомутаза

Другий етап: глюкозо-1-фосфат → глюкозо-6-фосфат

окиснення

Третій етап: глюкозо-6-фосфат → глюкоза

Обов’язково має бути фосфорилування.

Вуглеводи органів і тканин людини і тварин, здебільшого глікоген і глюкоза, постійно зазнають різних перетворень, серед яких особливе місце належить процесам розпаду вуглеводів з вивільненням енергії. На рис. 4.2 представлено схему синтезу і розпаду глікогену.

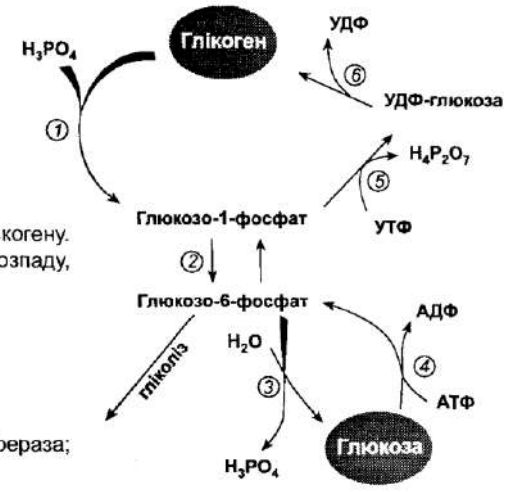


Рис. 11.1. Об’єднана схема синтезу і розпаду глікогену. Товстими стрілками показано шлях розпаду, тонкими – шлях синтезу. Цифрами позначено ферменти:
1 – фосфорилаза;
2 – фосфоглюкомутаза;
3 – глюкозо-6-фосфатаза;
4 – гексокіназа (глюкокіназа);
5 – глюкозо-1-фосфат-уридилтрансфераза;
6 – глікогенсинтаза

Проміжний обмін вуглеводів. ***Проміжний (внутріклітинний) обмін вуглеводів*** – це розпад глюкози в клітинах до утворення кінцевих продуктів – CO_2 і H_2O з вивільненням енергії. У тканинах організму (зокрема, в печінці) розпад глюкози відбувається двома основними шляхами: анаеробним (за відсутності кисню) і аеробним (у присутності кисню).

Для глюкози початковим етапом перетворення є фосфорилування до глюкозо-6-фосфату – центрального метаболіту в обміні вуглеводів. Клітини не

можуть запасати глюкозу і глюкозо-6-фосфат. Легкодоступною загасаючою формою вуглеводів, особливо у печінці та скелетних м´язах, є глікоген. Глюкозо-6-фосфат після дефосфорилування є джерелом вільної глюкози для підтримування її рівня у крові. Печінка, нирки, кишечник – це органи, клітини яких виділяють глюкозу у систему кровообігу.

Окиснення глюкозо-6-фосфату до двох тріоз в анаеробних умовах називають ***дихотомічним розщепленням***, а перетворення глюкозо-6-фосфату шляхом декарбоксилування, тобто короченням молекули на один атом Карбону з утворенням пентозофосфатів отримав назву ***апотомічного розщеплення, або пентозофосфатний шлях.*** У різних тканинах і органах одного і того ж організму співвідношення шляхів розпаду вуглеводів можуть бути різними. Проте у більшості випадків дихотомічний шлях займає провідне місце щодо апотомічного.

Розпад глюкози в анаеробних умовах завершується утворенням молочної кислоти: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3 – CHOH – COOH + Q$.

Кінцевими продуктами аеробного розпаду вуглеводів є CO_2 і H_2O:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2 + Q$.

Анаеробний розпад вуглеводів. Проходить у різних органах і тканинах вищих організмів, а також у клітинах бактерій і мікроорганізмів. Основним субстратом для цього процесу є глюкоза і глікоген, а для окремих бактерій – пентози, жирні кислоти та амінокислоти.

Основні реакції анаеробного розщеплення вуглеводів подібні до спиртового бродіння. Відмінності полягають у тому, що при спиртовому бродіння вуглеводів кінцевими продуктами є етиловий спирт і вуглекислий газ (при дії ферментів дріжджів), а при анаеробному розщепленні – молочна кислота або ПВК (рис. 4.3).

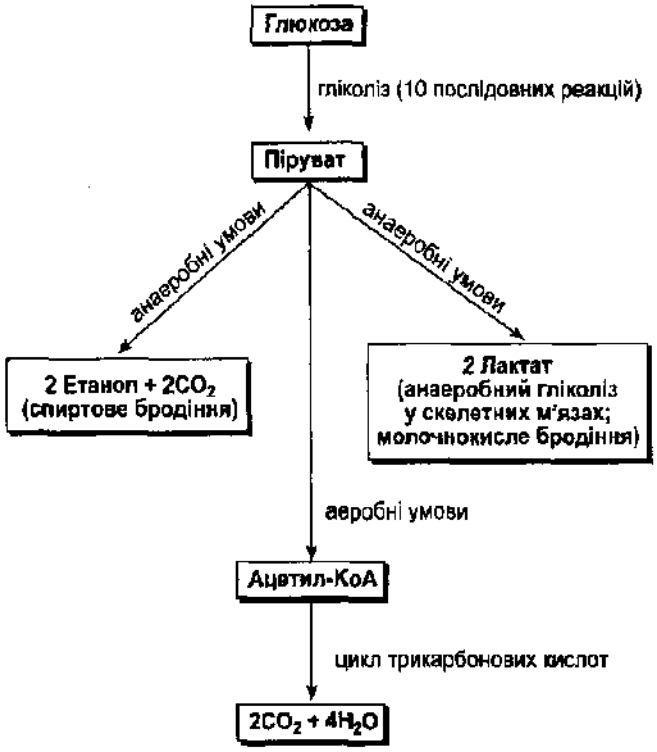


Рис. 4.3. Кінцевий продукт гліколізу піруват зазнає різних катаболічних претворень, залежно відмвиду організму і від умов, у яких відбувається метаболізм (за А.Ленінджером, 1985)

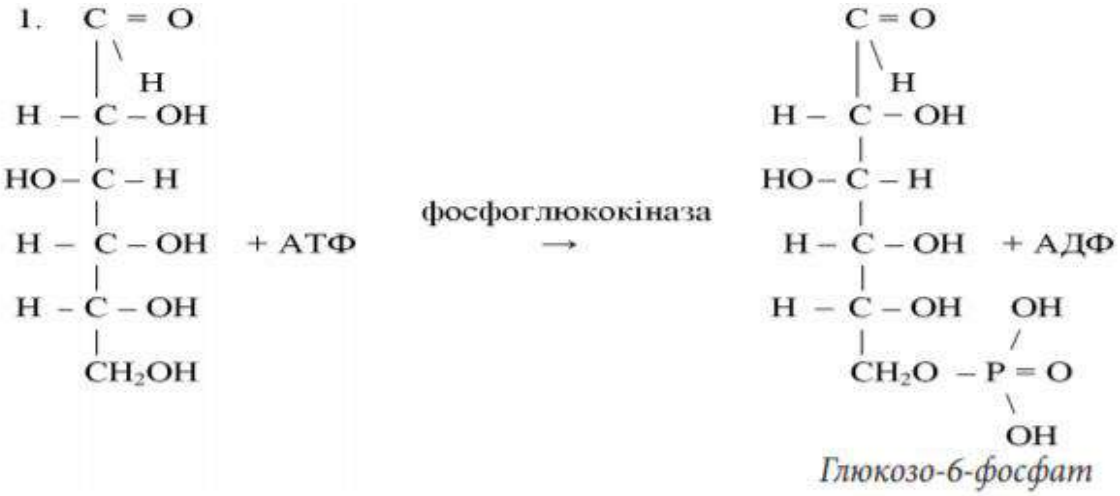
У вивченні анаеробного перетворення вуглеводів багато зроблено такими вченими як В. Енгельгардт, Я. Парнас, В. Беліцер, Г. Ембден, О. Мейєргоф, К.Корі, А.Гарден та ін. Вважається, що процес анаеробного перетворення вуглеводів порівняно з аеробним, є філогенетично давнішим, він виник на ранніх етапах розвитку живої матерії, коли атмосфера Землі не містила вільного кисню. В той час анаеробне перетворення поживних речовин було основним способом забезпечення організму енергією.

Більшість аеробних організмів зберегла до цього часу такий спосіб отримання енергії. Він є ніби підготовчим етапом до наступного окиснення вуглеводів до кінцевих продуктів за аеробних умов.

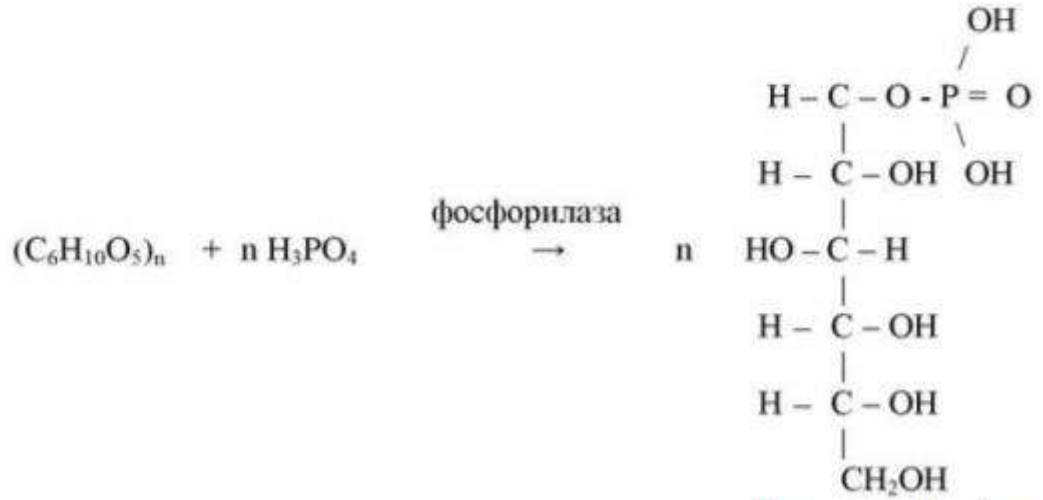
Анаеробне перетворення вуглеводів в організмах людини і тварин розпочинається з глікогену або глюкози.

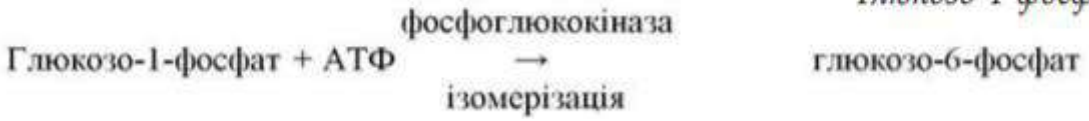
У першому випадку його називають *глікогенолізом,* у другому – *гліколізом.* У скелетних м’язах ці два процеси виражені в однаковій мірі, а в головному мозку і серцевому м’язі переважає гліколіз.

При гліколізі для того, щоб глюкоза окислилась, вона повинна фосфорилуватись (приєднати залишок фосфорної кислоти). Цей залишок приєднується від АТФ:

1. 

При глікогенолізі в присутності H_3PO_4 і ферменту фосфорилази (клас трансфераз) утворюється глюкозо-1-фосфат:





Після цього подальші шляхи гліколізу і глікогенолізу стають ідентичними а тому можуть бути розглянуті разом.

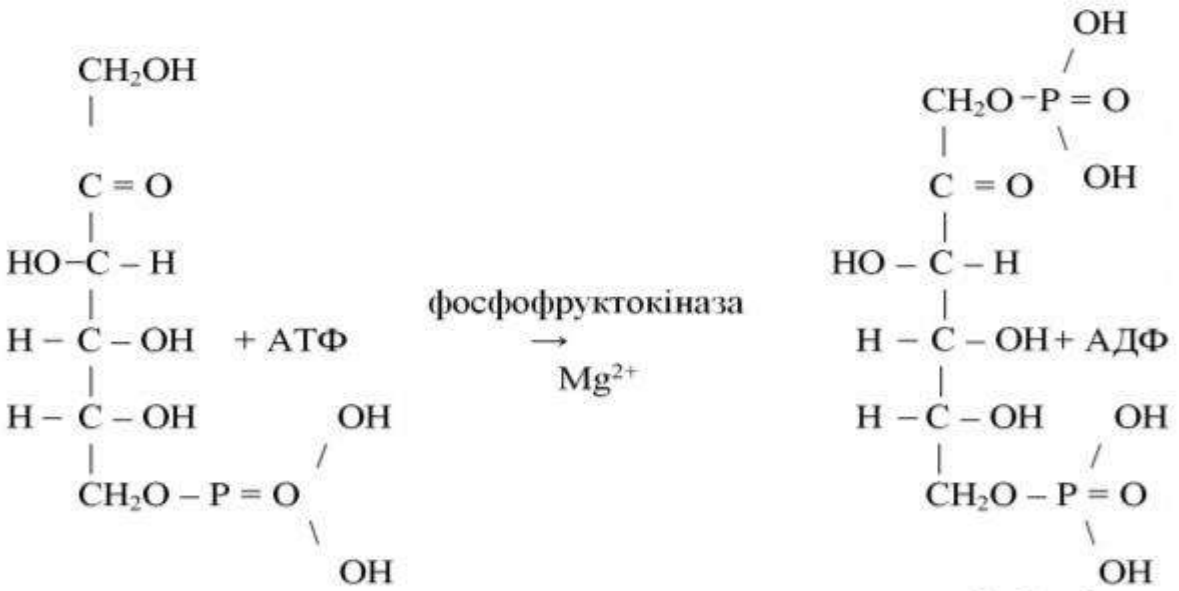
2. Глюкозо-6-фосфат під дією ферменту фосфогексоізомерази ізомерізується у фруктозо-6-фосфат.

Реакція протікає в прямому і зворотному напрямках.

У тканинах організму між двома фосфорними ефірами гексоз встановлюється динамічна рівновага (70% глюкозо-6-фосфату і 30% фруктозо-6-фосфату):

Фруктозо-6-фосфат

3. На цьому етапі фруктозо-6-фосфат фосфорилується в присутності АТФ і утворюється фруктозо-1,6-дифосфат:

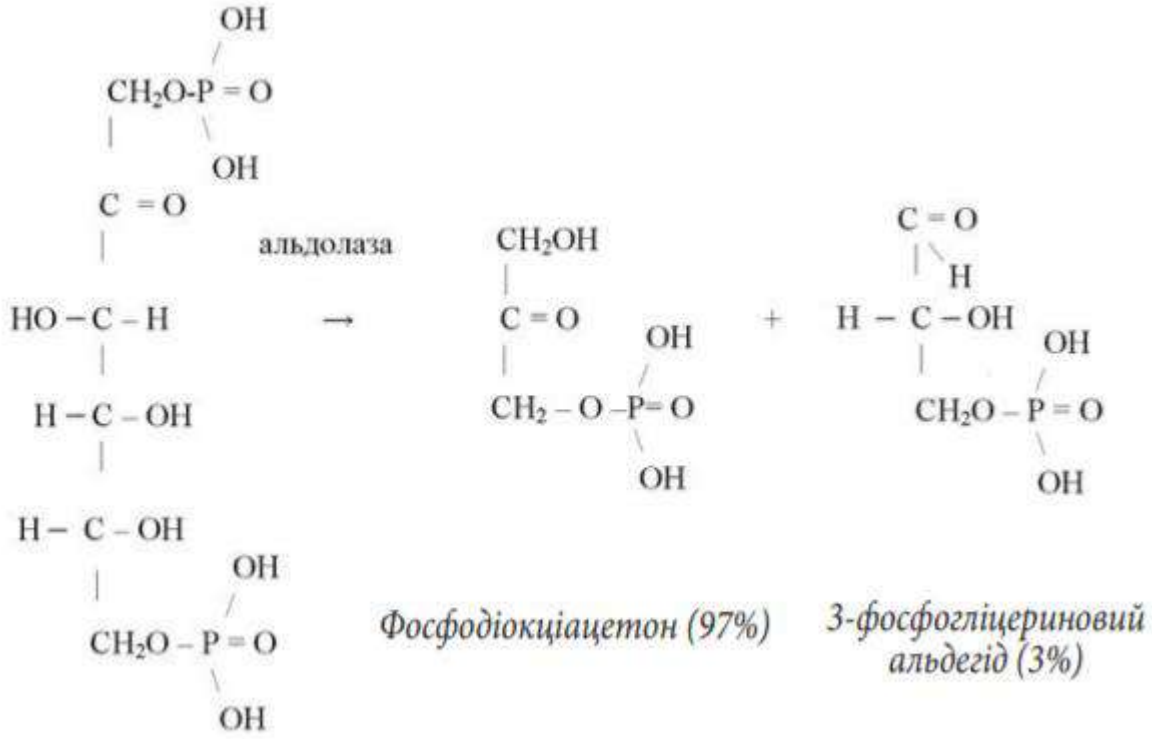


Фруктозо-1,6-дифосфат

Ця реакція необоротна і є найповільнішою в процесі гліколізу.

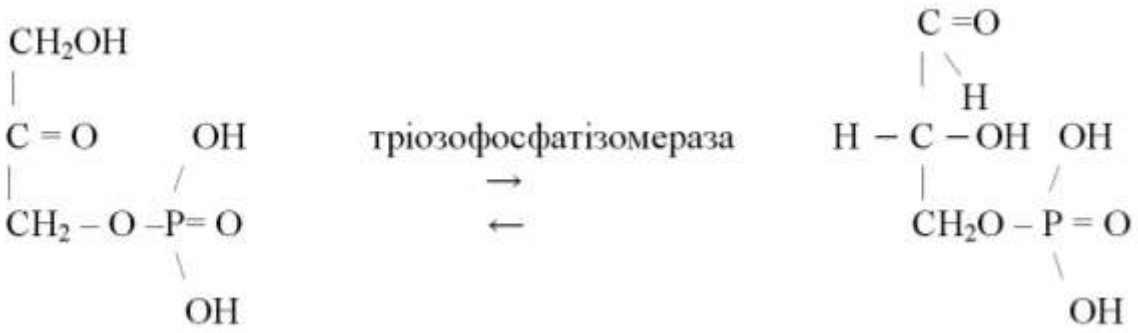
4. Наявність двох залишків фосфату на протилежних кінцях молекули гексози призводить до різкого ослаблення зв'язків між третім і четвертим атомами вуглецю. В результаті цього фруктозо-1,6-дифосфат легко

розщеплюється на дві фосфорильовані тріоди під впливом ферменту альдолази (клас ліаз):



Цей етап – місце переходу вуглеводів у жири (5-10% вуглеводів йде на утворення жирів). З фосфодіоксіацетону утворюються гліцерин та вищі жирні кислоти, які, сполучаючись між собою, утворюють молекулу жиру.

5. Для утворення енергії фосфодіоксіацетон ізомерізується і переходить в другу молекулу 3-фосфогліцеринового альдегіду:



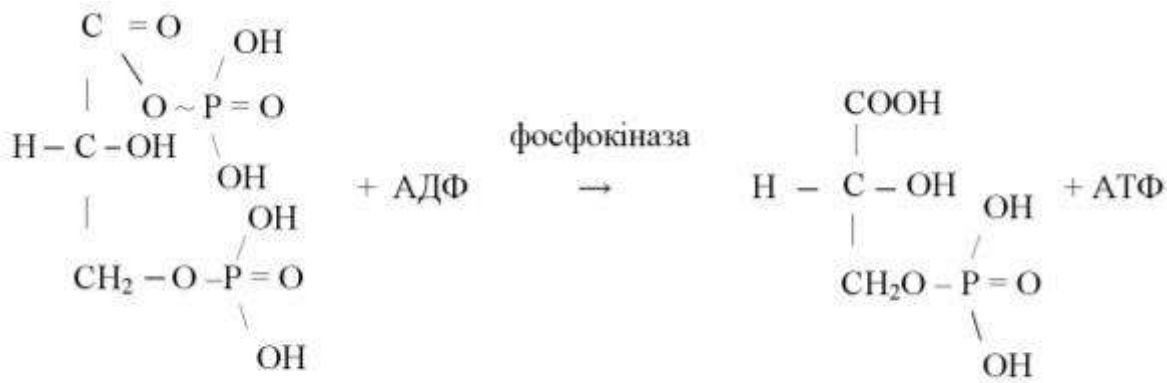
Отже, з кожної молекули глюкози утворюються дві молекули 3-фосфогліцеринового альдегіду. На цих стадіях гліколізу енергія АТФ лише використовувалась. На наступних стадіях енергія вивільняється і акумулюється в макроергічних зв'язках АТФ.

6. Дві молекули 3-фосфогліцеринового альдегіду в присутності H_3PO_4 і ферменту дегідрогенази перетворюються в 1,3-дифосфогліцеринову кислоту шляхом фосфорилування. Проміжним етапом в цьому процесі є утворення фермент-субстратного комплексу, внаслідок окиснення якого вивільняється енергія. Ця енергія зосереджується на карбоксил-фосфатному зв'язку:

1,3-дифосфогліцеринова кислота

7. 1,3-дифосфогліцеринова кислота в присутності ферменту фосфокінази віддає свій макроергічний зв'язок АДФ.

Утворюється 3-фосфогліцеринова кислота і молекула АТФ:



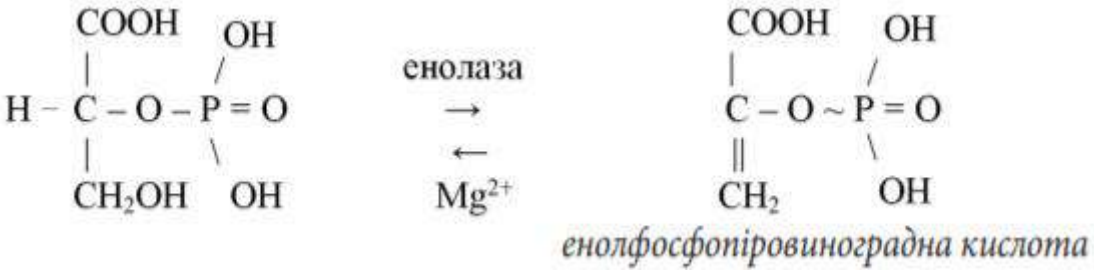
3-фосфогліцеринова кислота

Це перше місце, де організм отримує енергію:

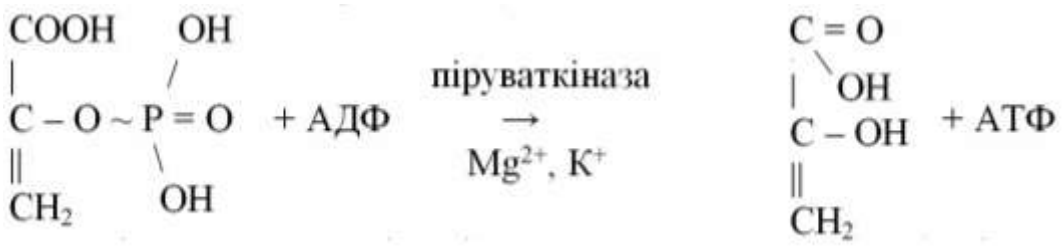
$АДФ + H_3PO_4 \rightarrow АТФ$

8. 3-фосфогліцеринова кислота під впливом ферменту фосфофруктомутази переходить в 2-фосфогліцеринову кислоту:

9. 2-фосфогліцеринова кислота під впливом енолази і при наявності йонів Mg^{2+} втрачає молекулу води, перетворюючись на енольну форму ПВК, яка має макроергічний зв'язок:



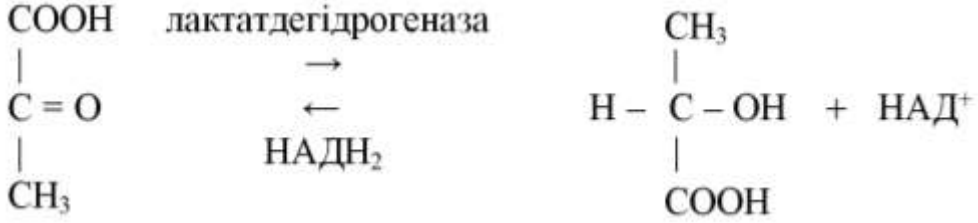
10. Залишок фосфорної кислоти переноситься на АДФ і утворюється АТФ, а енолфосфопіровиноградна кислота перетворюється в енольну форму ПВК (при наявності Mg^{2+}, K^+ і піруваткінази):



Енольна форма ПВК нестійка і переходить в кетоформу (без ферменту):

На цьому процес може закінчитися.

11. При нестачі кисню ПВК під дією ферменту лактатдегідрогенази і в присутності відновленого $НАДН_2$ перетворюється на молочну кислоту, яка звичайно і є кінцевим продуктом анаеробного розпаду вуглеводів у тваринних клітинах:



Таким чином, з однієї молекули глюкози при її анаеробному розпаді утворюються дві молекули молочної кислоти. В цій фазі утворюється 2 молекули АТФ (2 молекули АТФ затратилось, 4 молекули утворилось). При глікогенолізі з однієї молекули глюкози утворюється 3 молекули АТФ.

При повному окисненні 1 моля глюкози утворюється 686 ккал енергії, при анаеробному розпаді утворюється лише 47 ккал. При цьому в АТФ акумулюється лише 35-40% всієї вивільнюваної хімічної енергії. Решта енергії (60-65%) розсіюється у вигляді теплоти. За таких умов ККД цього процесу – 0,35-0,40. Процес гліколізу проходить у гіалоплазмі клітин (частина протоплазми, яка оточує всі органели).

Бродіння та його види. Основні реакції анаеробного розщеплення вуглеводів подібні до спиртового бродіння. Проміжним продуктом цих процесів є піровиноградна кислота. Її подальші перетворення ведуть до спиртового або інших видів бродінь, утворення оцтової кислоти або повного окиснення до вуглекислого газу і води в процесі аеробного розпаду.

Найважливішим із видів бродінь є *спиртове бродіння*, яке лежить в основі цілого ряду харчових виробництв – виноробства, пивоваріння, виготовлення спирту тощо. Воно здійснюється завдяки життєдіяльності цілого ряду мікроорганізмів, найтиповішими з яких є дріжджі.

Як вперше встановив Ж.-Л.Гей-Люссак, сумарно спиртове бродіння може бути виражене таким рівнянням: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH$.

Наведене сумарне рівняння спиртового бродіння не відображає того факту, що звичайно крім головних продуктів бродіння – етилового спирту та вуглекислого газу у незначній кількості утворюються інші речовини: янтарна кислота; сивушні масла (суміш амілового, ізоамілового, бутилового та інших спиртів); оцтовий альдегід; гліцерин та ін.

При спиртовому бродіння піровиноградна кислота під впливом ферменту піруватдекарбоксилази розщеплюється до вуглекислого газу та оцтового альдегіду. Останній вступає в реакцію з НАДН (утворився раніше при окисненні фосфогліцеринового альдегіду у фосфогліцеринові кислоту). В результаті проходить утворення етилового спирту. Реакція відновлення оцтового альдегіду каталізується ферментом алкогольдегдрогеназою.

Різні цукри зброджуються з різною швидкістю. Найбільш легко піддаються зброджуванню глюкоза і фруктоза, повільніше зброджуються маноза і ще повільніше – галактоза; пентози дріжджами не зброджуються; вони можуть зброджуватися лише деякими цвілевими грибами з роду Fusarium.

З дисахаридів гарним субстратом спиртового бродіння є сахароза і мальтоза. Але обидва ці дисахариди зброджуються лише після попереднього гідролізу на складові їх моносахариди.

Дріжджі зброджують досить високі концентрації цукру, які досягають 60%. Вони витримують також значні концентрації спирту, які досягають 10-14%; при цьому необхідно відмітити, що дріжджі більш чутливі до спирту при високих концентраціях цукру і при підвищених температурах.

В присутності кисню спиртове бродіння припиняється і дріжджі одержують енергію, необхідну для їх розвитку і життєдіяльності, шляхом кисневого дихання. При цьому дріжджі витрачають цукор значно економніше, ніж в анаеробних умовах. Припинення бродіння під впливом кисню одержало назву «ефекта Пастера».

При *молочнокислому бродінні* з однієї молекули гексози утворюються дві молекули молочної кислоти:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3 - CHOH - COOH.$$

Воно відіграє дуже велику роль при виробництві молочнокислих продуктів, при виготовленні квасу, хлібних заквасок, для хлібопечення, при квашенні капусти, огірків, при силосуванні кормів.

Крім молочної кислоти, в результаті молочнокислого бродіння утворюються також: оцтова кислота, етиловий спирт, вуглекислий газ, водень, метан.

Це пояснюється тим, що мікроорганізми, які викликають молочнокисле бродіння, поділяються на дві великі групи:

- *гомоферментативні молочнокислі бактерії* – це справжні анаероби, які зброджують гексози у точній відповідності з вищенаведеним рівнянням молочнокислого бродіння (Streptococcus lactis);

- *гетероферментативні молочнокислі бактерії* – крім молочної кислоти утворюють значні кількості інших продуктів, зокрема оцтової кислоти та етилового спирту (Bacterium lactis aerogenes). Вихід оцтової кислоти при збродженні цукрів подібними мікробами може перевищувати вихід молочної кислоти.

Третім найважливішим видом бродінь є *маслянокисле бродіння*. Більшість мікроорганізмів, які викликають маслянокисле бродіння, є анаеробами. Деякі з них належать до групи облігатних анаеробів, тобто таких організмів, які можуть жити тільки лише у відсутності кисню і для яких останній є отрутою.

Сумарне рівняння маслянокислого бродіння має такий вигляд:

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3 - CH_2 - CH_2 - COOH + 2CO_2 + 2H_2$.

При маслянокислому бродіння спостерігається утворення дуже великої кількості побічних продуктів: вуглекислого газу, водню, етилового спирту, молочної кислоти, оцтової кислоти.

Маслянокисле бродіння в природних умовах проходить в гігантських масштабах на дні боліт, в заболочених ґрунтах, в намулах і у всіх тих місцях, куди обмежений доступ кисню і де завдяки діяльності маслянокислих бактерій розкладаються величезні кількості органічної речовини.

Всі інші види бродінь є комбінаціями трьох основних типів. Наприклад, ацетоноетилове бродіння є комбінацією спиртового і маслянокислого бродінь. Бродіння клітковини і бродіння пектинових речовин – різновиди маслянокислого бродіння. Пропіоновокисле бродіння, яке має велике значення при виробництві сирів, може розглядатися як комбінація молочнокислого і спиртового бродінь.

Три основні типи бродінь органічно пов’язані між собою. Про це говорять багаточисельні експериментальні дані, одержані при дослідженні проміжних

продуктів бродінь. Більш того, ці дані показують, що бродіння знаходяться у найтіснішому зв'язку з нормальним кисневим диханням.

Аеробний розпад вуглеводів. Основна кількість енергії окиснення вуглеводів вивільняється в аеробних умовах – при наявності кисню. Цей процес відбувається у мітохондріях і називається циклом трикарбонових кислот, лимоннокислим циклом, клітинним диханням, циклом Кребса (за ім'ям вченого, який його досліджував). Крім Г. Кребса, значний вклад у вивчення цього процесу внесли С.Северин, А. Ленінджер та інші.

Аеробне і анаеробне перетворення вуглеводів тісно пов'язані між собою. У перебігу цих процесів є багато спільного:

• наявність ПВК, якою завершується анаеробна фаза і починається аеробна;

• обидва процеси каталізуються одними і тими ж ферментами;

• хімічна енергія, яка утворюється, резервується у вигляді АТФ;

• беруть участь одні і ті ж коферменти (НАД, НАДФ) і катіони.

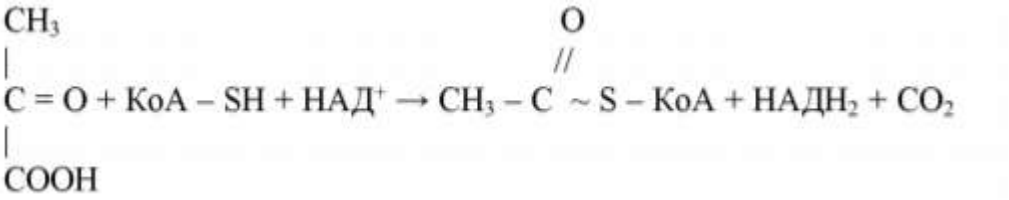
Разом з тим, у перебігу процесів аеробного і анаеробного перетворення вуглеводів є ряд відмінностей:

• анаеробна фаза проходить у гіалоплазмі, аеробна – в мітохондріях;

• анаеробна – без доступу кисню, аеробна – при наявності кисню. За деяких умов між обома фазами може проявлятися антагонізм. Наприклад, при наявності кисню різко зменшується швидкість реакцій гліколізу; в свою чергу, продукти гліколізу можуть гальмувати аеробний розпад вуглеводів. У перебігу процесів аеробного розпаду вуглеводів можна виділити ряд етапів.

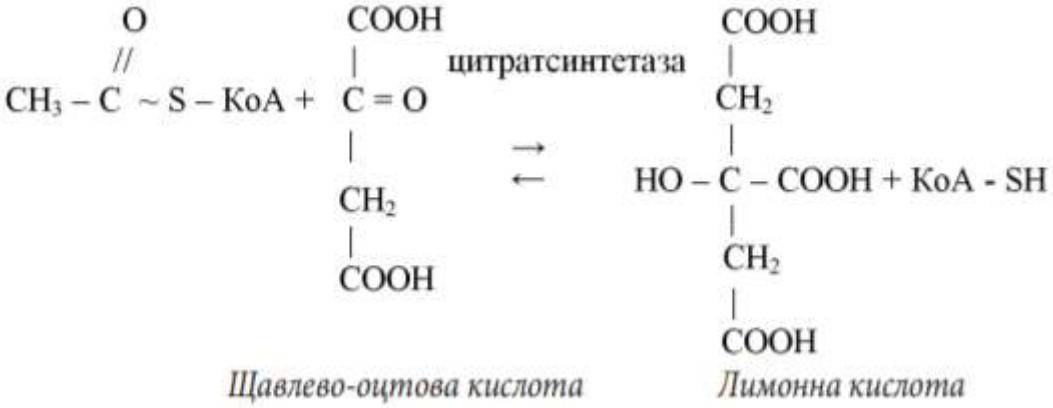
1. Якщо кінцевий продукт анаеробного розщеплення вуглеводів – молочна кислота, то частина її всмоктується в кров, частина йде на утворення глікогену, а частина окиснюється до ПВК:

ПВК в присутності КоА перетворюється в активну оцтову кислоту (ацетил-КоА):



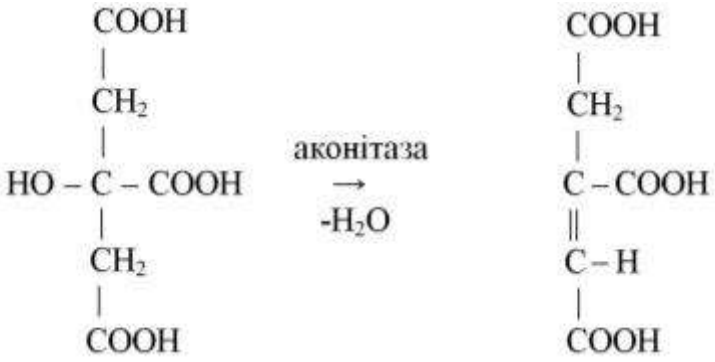
Ацетил-КоА містить макроергічний зв'язок (акумулює 5-7% енергії). Основна маса хімічної енергії утворюється в результаті окиснення «активного ацетату».

2. Ацетил-КоА конденсується з щавлево-оцтовою кислотою і утворюється лимонна кислота. КоА при цьому відщеплюється:

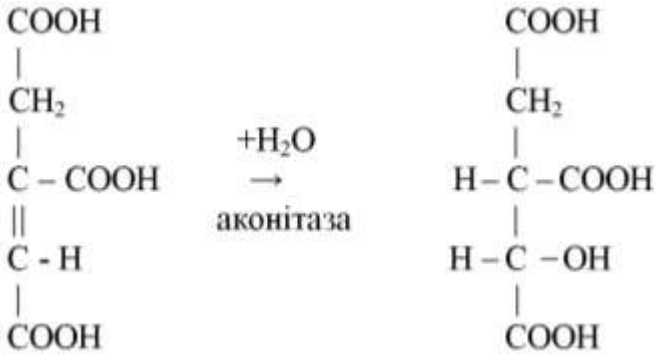


Щавлево-оцтова кислота утворюється або при переамінуванні аспарагінової кислоти, або при карбоксилуванні ПВК.

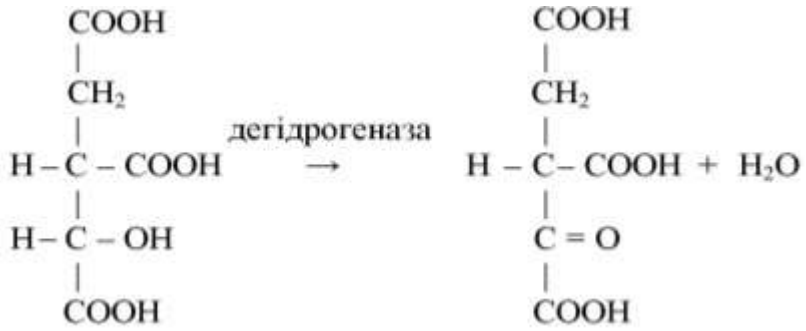
3. Лимонна кислота в присутності ферменту аконітази після відщеплення води перетворюється в цис-аконітову кислоту:



4. Цис-аконітова кислота в присутності аконітази приєднує молекулу води і перетворюється в ізолимонну кислоту. Між трьома трикарбоновими кислотами встановлюється динамічна рівновага:

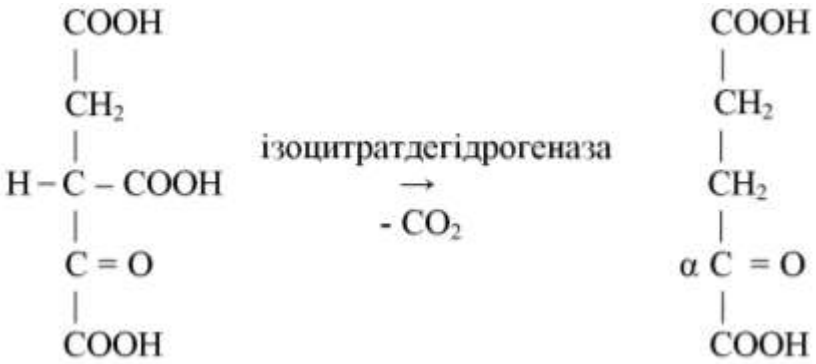


5. Ізолимонна кислота під впливом дегідрогенази перетворюється в щавлево-янтарну кислоту:

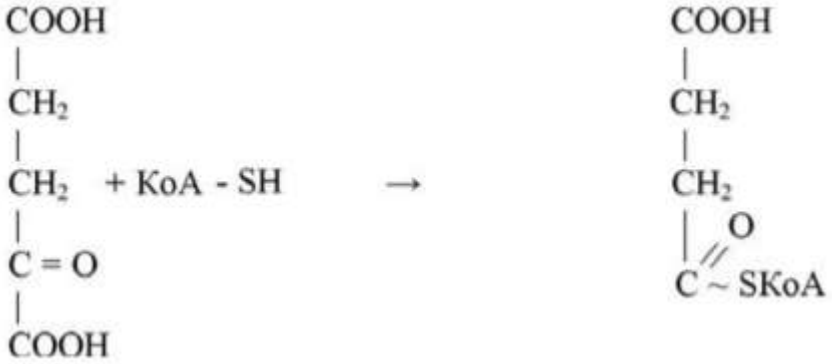


При цьому водень, який відщепився, окиснюється і дає воду.

6. Щавлево-янтарна кислота декарбоксилується і перетворюється в α-кетоглутарову кислоту:



7. α-кетоглутарова кислота в присутності КоА перетворюється в активну сукцінілову кислоту (сукциніл-КоА), яка містить макроергічний зв'язок:



8. Сукцініл-КоА передає макроергічний зв'язок і перетворюється в янтарну кислоту:

9. Янтарна кислота окиснюється і перетворюється у фумарову кислоту (існує в транс-формі):

10. Фумарова кислота гідратується і під впливом фумаратгідратази перетворюється на яблучну:

Фумарова кислота *Яблучна кислота*

11. Яблучна кислота окиснюється і перетворюється в щавлево-оцтову кислоту. Утворюється вода:

Яблучна кислота *Щавлево-оцтова кислота*

При наявності в реагуючій системі ацетил-КоА щавлево-оцтова кислота знову включається в цикл трикарбонових кислот.

В циклі Кребса з 1 грам-молекули глюкози при повному окисненні звільняється 639 ккал енергії; утворюється 36 молекул АТФ. Цей процес забезпечує організм енергією на 2/3. Коефіцієнт корисної дії циклу Кребса 0,5 (рис.4.4). Решта енергії розсіюється у вигляді теплоти. В циклі Кребса закінчують свій розпад не тільки вуглеводи, а й гліцерин і вищі жирні кислоти.

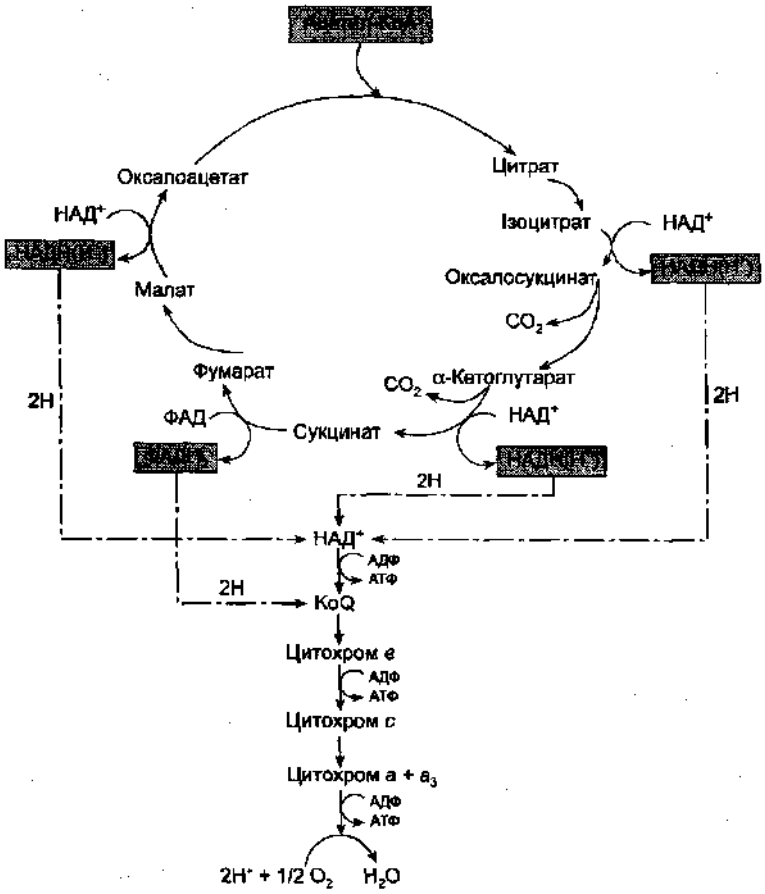


Рис. 4.4. Метаболічна карта циклу трикарбонових кислот і зв'язок ЦТК із дихальним ланцюгом мітохондрій (Ю.І.Губський)

Пентозофосфатний шлях (ПФШ, цикл Варбурга-Діккенса-Хорекера-Енгельгардта). Крім цих двох процесів є ще третій шлях енергетичного перетворення вуглеводів – *пентозофосфатний шлях (ПФШ)*. Оскільки цей процес характеризується поступовим «відсіканням» від молекули глюкози атомів вуглецю, то за пропозицією В.Енгельгардта його було названо *апотомічним циклом* (від грецьк. apo – від, tomo – сікти). Іноді його називають прямим, або гексозомонофосфатним, шляхом окиснення вуглеводів, оскільки тут глюкозо-6-фосфат зазнає прямого окиснення (з відщепленням CO_2) без утворення 1,6-дифосфату і двох фосфотріоз. Пентозний шлях – це ланцюг послідовних хімічних претворень вуглеводів, у результаті якого в тканинах і клітинах вивільнюється хімічна енергія і утворюються пентози, необхідні для синтезу нуклеїнових кислот, нуклеотидів і коферментів (рис. 4.5).

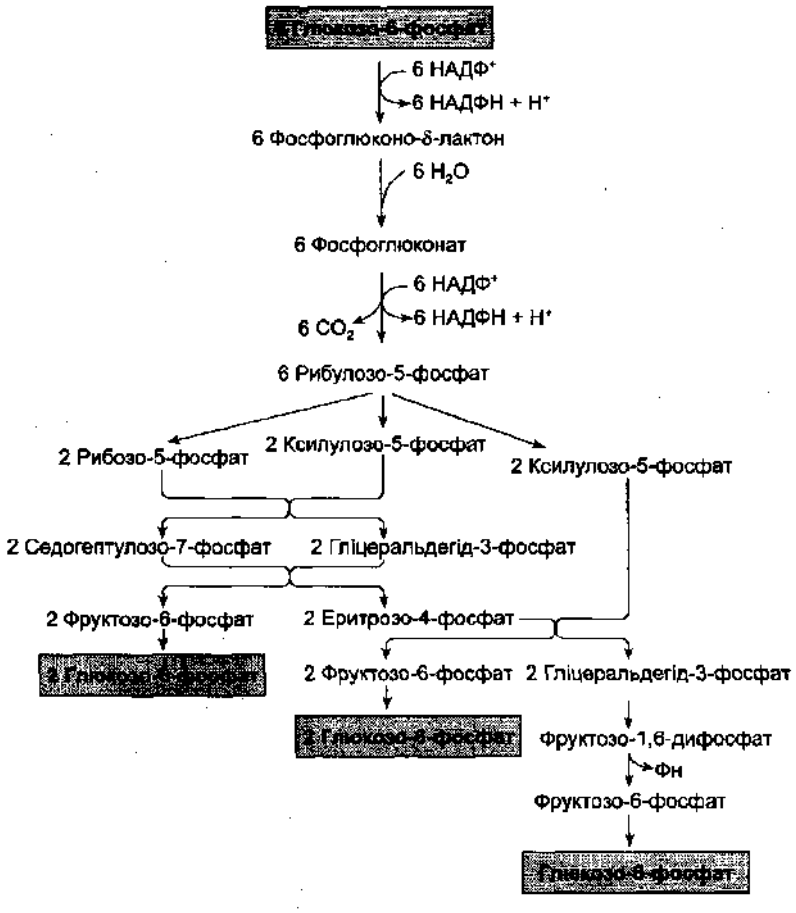


Рис. 4.5. Схема функціонування пентозофосфатного шляху

Сумарне рівняння пентозофосфатного циклу:

$$6\ \text{Глюкозо-6-фосфат} + 7H_2O + 12\text{НАДФ}^+ \rightarrow$$
$$\rightarrow\ 5\ \text{Глюкозо-6-фосфат} + 6CO_2 + \Phi_н + 12\text{НАДФ}(H^+)$$

або

$$\text{Глюкозо-6-фосфат} + 7H_2O + 12\text{НАДФ}^+ \rightarrow 6CO_2 + \Phi_н + 12\text{НАДФ}(H^+)$$

Цим шляхом перетворюється 5-10% глюкози. Більш детально досліджений пентозний шлях О.Варбургом, Ф.Ліпманом, І.Головацьким.

Найкраще цей процес проходить в мозку, серці, печінці, селезінці (паренхіматозних органах). При апотомічному розпаді утворюються рибоза, рибулоза, ксилулоза).

Пентозний шлях відіграє важливу роль у синтезу жирів. Так, у жировій тканині він займає 50% відносно гліколізу, в печінці – 2,5-3,0 і в м'язовій тканині – 0,3%. Припускають, що останні стадії пентозного шляху забезпечують жирові клітини гліцерином, який утворюється з 3-фосфогліцеринового альдегіду.

Посилений розпад вуглеводів при м'язовій роботі в залежності від її інтенсивності може проходити як аеробним, так і анаеробним шляхом. Анаеробний розпад вуглеводів приводить до нагромадження в організмі великої кількості молочної кислоти. При виконанні інтенсивних фізичних навантажень рівень молочної кислоти в крові може збільшуватися до 350 мг%.

Таким чином, кінцевими продуктами обміну вуглеводів є вода, вуглекислий газ, енергія. Вода виділяється з сечею, потом, видихуваним повітрям, калом, вуглекислий газ – через легені.

Для утворення глюкози і глікогену в печінці витрачається енергія від окиснення 15% молочної кислоти, решта енергії, що міститься в молочній кислоті, перетворюється в глікоген м'язів. При фізичній роботі в першу чергу використовуються запаси м'язового глікогену, а після його повного вичерпання – глюкоза, яка утворюється із запасів печінкового глікогену і транспортується до м'язів кров'ю. Значне зростання споживання кисню працюючими м'язами активізує процеси утворення глікогену в печінці з жирів і білків.

Концентрація глюкози в крові в звичайних умовах становить 0,1% (80-120 мг%). Достатня (нормативна) кількість глюкози в крові – обов'язкова

умова нормального функціонування ЦНС. Дефіцит глюкози в крові проявляється відчуттям втоми – у людини починають підкошуватись ноги, тремтять руки, з'являється загальна слабкість, апатія тощо.

Збільшення глюкози в крові вище рівня 120 мг% називається *гіперглікемією,* а поява глюкози в сечі – *глюкозурією.* Розрізняють харчову або аліментарну гіперглікемію (надмірне зростання глюкози в крові після надмірного її споживання з їжею) і патологічну, обумовлену порушенням вуглеводного обміну. В цілому ж рівень глюкози в крові досить сталий. Ця сталість підтримується надходженням моноцукрів з травного тракту і розщепленням або синтезом глікогену в печінці.

Зниження концентрації глюкози в крові нижче нормативного рівня носить назву *гіпоглікемії.* Вона виникає при голодуванні, коли повністю вичерпуються запаси глікогену в печінці і відсутнє надходження моноцукрів з шлунково-кишкового тракту, або ж при виконанні напруженої і тривалої роботи.

Добова потреба людини у вуглеводах 450-500 г, при виконанні інтенсивної м'язової роботи – 700-1000 г. Норма вуглеводів за вагою повинна становити 60%, а за енергією 50-60 % від загальної кількості прийнятої їжі. Моносахариди і дисахариди повинні складати не більше 20% від загальної кількості вуглеводів, які надходять в організм з їжею. Глюкоза не вимагає перетравлення і швидко всмоктується в кров. Переважна більшість поліцукрів надходить в організм у вигляді продуктів з зернових і овочів. Пшеничне і житнє зерно містять в собі багато вітамінів групи В, мінералів і білків. Вітамінів значно більше в продуктах з борошна грубого помолу, у висівках, значно менше у першосортному борошні. Висівки з великим вмістом клітковини є необхідним харчовим компонентом для нормального функціонування кишечнику, вони сприяють видаленню з організму токсичних речовин, попереджують розвиток запалень товстого кишечнику і раку прямої кишки.

З овочів багаті вітамінами, мінеральними солями і клітковиною морква, капуста, буряк. Картопля містить в собі багато крохмалю, але мало клітковини, тому її доцільно споживати у поєднанні з іншими овочами. Цибуля містить

мало вуглеводів, але корисна завдяки своїй бактерицидній дії. Крім того вона стимулює виділення травних соків і активізує перетравлення білків та жирів.

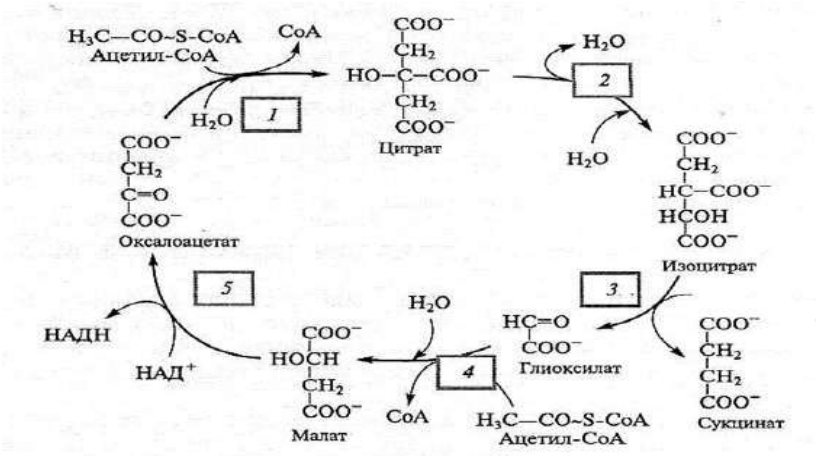
Гліоксалатний цикл. Гліоксалатний цикл одержав назву від гліоксилієвої кислоти, що входить до його складу. Він є видозміненим циклом Кребса. На відміну від циклу Кребса в гліоксалатному циклі ізолимонна кислота розпадається на янтарну кислоту і гліоксилієву кислоту.

Сутність гліоксалатного циклу полягає в окисному перетворенні двох молекул оцтової кислоти на янтарну (бурштинову) кислоту з виділенням води. Цикл може бути представлений таким сумарним рівнянням, яке показує його початкові та кінцеві продукти:

$2CH_3COOH + ½\ H_2O \rightarrow HOOC - CH_2 - CH_2 - COOH + H_2O.$

Реалізується гліоксалатний цикл не в мітохондріях, а в особливих органоїдах – гліоксисомах. Цей цикл властивий тільки рослинам і відсутній у тварин і людини. Гліоксалатний цикл функціонує також у мікроорганізмів, які отримують ацетат як єдине джерело вуглецю. Гліоксалатний цикл пов'язаний з поглинанням кисню і є аеробним процесом.

Проміжними продуктами циклу є яблучна, щавлевооцтова, лимонна, ізолимонна кислоти. Особливістю гліоксалатного циклу є наявність двох входів, обидва пов'язані з поглинанням оцтової кислоти. Акцепторами оцтової кислоти, що попередньо активується ацетил-КоА, у першому випадку є гліоксилієва кислота, в другому – яблучна кислота. Гліоксалатний цикл зв'язує дихання рослин з обміном ліпідів і вуглеводів та має особливе значення при перетворенні жирів у вуглеводи. При проростанні олійних насінин внаслідок роботи гліоксалатного циклу з оцтової кислоти виробляються напівфабрикати молекул вуглеводів. Остаточний продукт гліоксалатного циклу – янтарна кислота – зв'язує цей цикл із циклом Кребса:



Гліоксалатний цикл

Регуляція вуглеводного обміну. В регуляції вуглеводного обміну перш за все беруть участь нервові центри, розміщені в довгастому і проміжному мозку, лімбічній системі, ретикулярній формації і корі великих півкуль. Доказом участі кори великих півкуль і підкоркових систем в регуляції обміну вуглеводів є умовно рефлекторне збільшення вмісту глюкози в крові студентів перед екзаменом. Існує прямий зв'язок між вмістом глюкози в крові і функціональним станом ЦНС – зменшення рівня глюкози в крові викликає збудження нервових центрів довгастого мозку.

Гуморальна регуляція вуглеводного обміну забезпечується адреналіном, який виділяється наднирниками при збудженні симпатичної нервової системи, і гормонами підшлункової залози – інсуліном та глюкагоном. Адреналін стимулює розпад глікогену в печінці і м'язах, інсулін посилює транспорт глюкози через мембрани м'язових волокон і клітин печінки, що сприяє синтезу глікогену в м'язах і печінці.

Активуючи використання глюкози, інсулін стимулює відкладання жиру в жирових депо. Глюкагон підшлункової залози є антагоністом інсуліну. Збільшення його секреції приводить до швидкого зростання рівня глюкози в крові.

Порушення секреторної функції підшлункової залози (посилений синтез глюкагону і зменшений синтез інсуліну) приводить до збільшення рівня глюкози в крові – цукровий діабет. При цьому захворюванні глюкоза

з’являється в сечі. У такого хворого упродовж дня з сечею може виділитись до 500 г глюкози.

В регуляції вуглеводного обміну беруть участь гормони гіпофізу (сомато-, тирео-, адренокортикотропні гормони), щитоподібної залози (тироксин, трийодтиронін), а також глікокортикоїди наднирників (кортизон, гідрокортизон, кортикостерон, дегідрокортикостерон). Кортизон і гідрокортизон регулюють утворення глікогену, затримують розпад вуглеводів і синтез жиру; кортикостерон і дегідрокортикостерон підвищують рівень глюкози в крові. Глікортикоїди – це адаптогенні гормони, вони стимулюють енергозабезпечення при м’язовій роботі, сповільнюють настання втоми, стимулюють гліконеогенез.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Перетравлювання вуглеводів у різних відділах шлунково-кишкового тракту.
2. Бродіння, його види.
3. Біосинтез глікогену.
4. Фосфороліз глікогену.
5. Анаеробний розпад вуглеводів.
6. Цикл три карбонових кислот.
7. Енергетичний баланс повного окиснення глюкози.

4.3. Обмін ліпідів

Перетравлення та всмоктування ліпідів у шлунково-кишковому тракті. Роль жовчних кислот в обміні ліпідів. Щодня людина вживає з їжею близько 50-70 г ліпідів, чим забезпечує 30-50% потреб організму в енергії. Важливо, що з ліпідами їжі в організм надходять жиророзчинні вітаміни та поліненасичені жирні кислоти. Обмін ліпідів – багатоступеневий процес, який включає такі основні етапи: перетравлення, всмоктування та внутрішньоклітинний обмін.

У процесі перетравлення ліпідів є як спільні закономірності, так і специфічні особливості для кожної з груп.

В ротовій порожнині ліпіди їжі механічно подрібнюються, змочуються слиною. Перетравлення ліпідів, які потрапляють в організм з їжею, починається

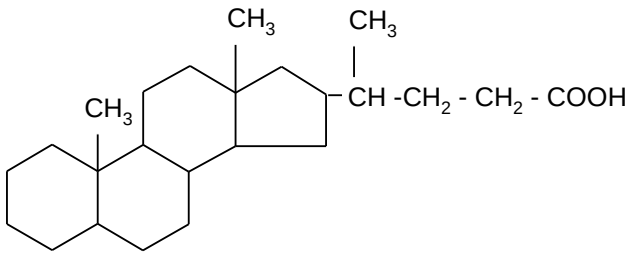
в шлунку, але тут розщеплюється незначна кількість ліпідів із-за відсутності необхідних умов. Незначна кількість ліпази, що міститься в шлунку дорослих людей, малоактивна, оскільки оптимальна активність цього ферменту проявляється при кислотності, близькій до нейтральної (pH=5,5-7,5), а в шлунку реакція середовища кисла. Окрім цього, ліпаза здатна розщеплювати лише емульговані жири, а чинники, що сприяють їх емульгації, у шлунку відсутні. Частковому гідролізу в шлунку піддаються лише емульговані жири молока. Більш інтенсивно розщеплення емульгованих жирів молока шлунковою ліпазою проходить у немовлят у яких pH шлункового соку близько 5.

В тонкому кишечнику перетравлюється основна маса жирів (95-97%). Перетравлення складається з двох процесів: емульгування і гідролітичне розщеплення жиру. Емульгування відбувається під впливом солей жовчних кислот, вищих жирних кислот, моногліцеридів, $NaHCO_3$, CO_2, білків та ін. Жирові краплі подрібнюються, утворюючи найдрібнішу жирову емульсію внаслідок різкого зниження поверхневого натягу, розпаду їх на дрібні часточки та утворення адсорбату жир + ліпаза. Настає гідроліз. Ліпаза спочатку здійснює гідролітичне розщеплення зовнішніх естерних зв’язків.

Важливу роль в перетравленні і всмоктуванні ліпідів відіграє жовч. Жовч виробляється гепатоцитами печінки безперервно. Ця ізотонічна золотистого кольору рідина має слаболужну реакцію. Її добова секреція становить 0,5-1,0 л. При відсутності травлення жовч нагромаджується в жовчному міхурі. Внаслідок зневоднення міхурова жовч стає більш густою і темнішою.

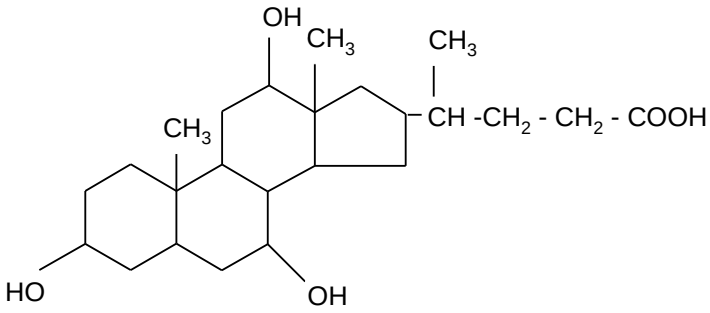
До складу жовчі входять органічні компоненти – солі жовчних кислот, білірубін, холестерин, жирні кислоти і лецетин. Ферментів у жовчі немає. Білірубін утворюється з гемоглобіну при руйнуванні еритроцитів (з 1 г гемоглобіну утворюється 40 мг білірубіну). Білірубін надає жовчі жовтого кольору, а біліверд ін (продукт окиснення білірубіну) – зеленого. Жовч стимулює діяльність кишкової мікрофлори, пригнічує життєдіяльність патогенних мікроорганізмів. Основу щільного залишку жовчі складають жовчні кислоти.

Жовчні кислоти (речовини стероїдної природи) синтезуються в печінці з холестерину. Вони є похідними холанової кислоти:



Саме жовчні кислоти або їх натрієві та калієві солі і емульгують жири.

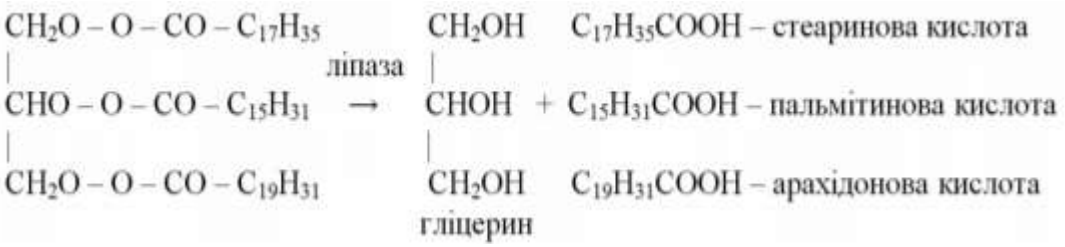
Жовчні кислоти в основному представлені холевою кислотою:



Окрім того, до жовчних кислот належать дезоксихолева, кенодезоксихолева і літохолева кислоти (її багато у жовчних каменях).

Жовчні кислоти, як правило, містяться у жовчі не у вільному стані, а у вигляді так званих комплексних (парних) жовчних кислот – коньюгатів з гліцином або таурином – глікохолева, глікодезоксихолева, таурохолева, тауродезоксихолева кислоти.

Роль жовчних кислот в обміні ліпідів багатогранна. Вони емульгують жири, сприяють всмоктуванню вищих жирних кислот, активують фермент ліпазу (відноситься до класу гідролаз, підклас естераз).

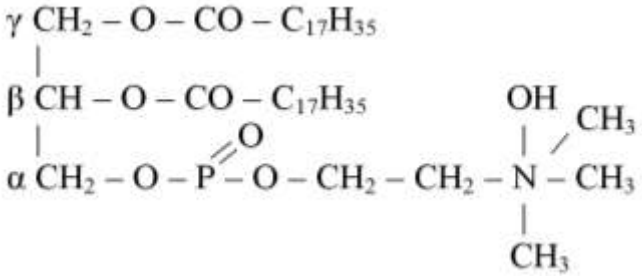


Вищі жирні кислоти не розчиняються у воді, а при наявності жовчних кислот утворюють розчинні *холеїнові комплекси*, які всмоктуються у тонкому кишечнику.

Стериди їжі емульгуються під впливом тих же чинників, що й жири, після чого розщеплюються ферментом холестеролестеразою до холестерину та вищих жирних кислот.

Подібним чином емульгуються і фосфатиди. Їх гідролітичний розпад відбувається під впливом фосфоліпази А, В, С, Д. Кожний фермент діє на певний естерний зв'язок ліпіду. При послідовній дії цих фосфоліпаз фосфоліпіди розщеплюються до гліцерину, двох залишків вищих жирних кислот, фосфатної кислоти та азотистих основ.

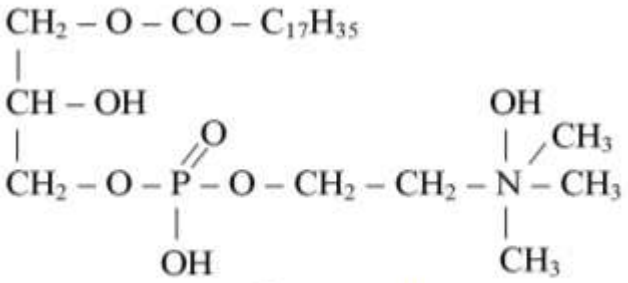
Розглянемо процес перетравлювання фосфоліпідів на прикладі лецитину.



1 етап. Фосфоліпаза А в присутності води відщеплює залишок вищої жирної кислоти в β-положенні. Утворюється лізолецетин.

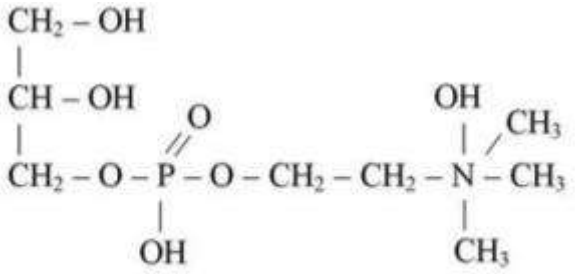
Лізолецетин – досить токсична сполука і може викликати руйнування клітинних мембран (лізис еритроцитів).

У вільному стані в значній кількості міститься в отруті змій та скорпіонів, де фосфоліпаза А проявляє високу активність.



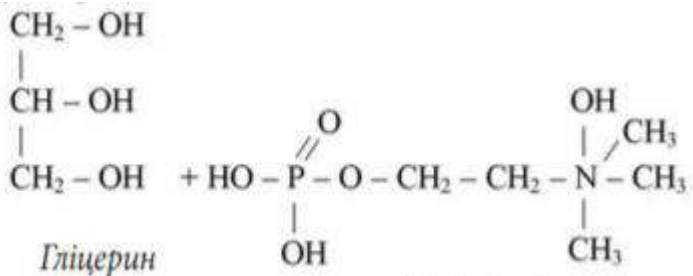
Лізолецитин

2 етап. Фосфоліпаза В відщеплює вищу жирну кислоту в γ-положенні. Утворюється гліцеринфосфохолін (гліцерофосфохолін, гліцерофосфорилхолін).



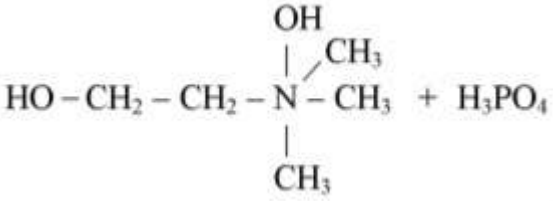
Гліцерофосфохолін

3 етап. Фосфоліпаза С розщеплює гліцерофосфохолін до гліцерину і холінфосфату (в присутності води).



Гліцерин *Холінфосфат*

4 етап. Фосфоліпаза Д гідролізує холінфосфат до холіну і фосфорної кислоти.



Таким чином, при перетравлюванні лецетину утворюються гліцерин, дві вищі жирні кислоти, холін і фосфорна кислота.

Кінцеві продукти травлення ліпідів складаються з дрібних часточок жиру, ди- і моногліцеридів, вищих жирних кислот, гліцерину, гліцерофосфатів, азотистих основ, холестерину, вищих спиртів, фосфатної кислоти тощо. Вони розподіляються у двох фазах: ліпідній і міцелярній. У ліпідній фазі основними компонентами є найдрібніші часточки три- і дигліцеридів, у міцелярній – вищі жирні кислоти, моногліцериди та інші продукти травлення ліпідів.

Всмоктування ліпідів відбувається в нижній частині 12-палої кишки і у верхній частині порожньої кишок, решти – в інших ділянках тонкої кишки. Всмоктування відбувається за рахунок мікро ворсинок епітелію.

Всмоктування проходить двома шляхами:

а) через субмікроскопічні канальні мікроворсинок за допомогою дифузії, осмосу та активного транспортування;

б) через проміжні щілини завдяки піноцитозу.

10% жиру всмоктується у вигляді тригліцеридів, 10 – у вигляді ди- і моногліцеридів, 80% - у вигляді продуктів кінцевого гідролізу.

Гліцерин і гліцерофосфати всмоктуються досить легко, фосфатна кислота всмоктується у вигляді натрієвих та калієвих солей; азотисті основи – за участю нуклеотидів, утворюючи комплекси; вищі жирні кислоти – у вигляді холеїнових комплексів з жовчними кислотами.

У товстому кишечнику ті речовини, які не зазнали змін, гниють під впливом ферментів мікроорганізмів і виводяться разом з калом.

В епітеліальних клітинах із продуктів всмоктування синтезуються (ресинтезуються) ліпіди, специфічні для даного організму. Цей процес йде в стінці тонкого кишечнику, причому синтезуються жири, які в значній мірі специфічні і відрізняються по своїй природі від харчового жиру.

Ресинтезовані ліпіди (тригліцериди, гліцерофосфатиди тощо), холестерин, який всмоктався з порожнини кишок, і деякі продукти розщеплення жирів (жирні кислоти), які не були використані в ресинтезі, здатні сполучатися з білком і утворювати транспортні форми ліпідів. До них належать: хіломікрони, α-ліпопротеїди, β-ліпопротеїди, вільні жирні кислоти.

Хіломікрони – мають форму крапель жиру діаметром 100-500 нм, окутаних білковою оболонкою. Близько 75-80% загальної кількості ліпідів потрапляє у кров у вигляді хіломікронів. Хіломікрони містять в середньому 1,5-2% білку, 7-10 – фосфоліпідів, 5-8 – холестерину та його ефірів, 75-80% гліцеридів. Після засвоєння поживних речовин їжі вміст хіломікронів у крові значно підвищується, внаслідок чого вона стає мутною (хілезною). Найбільша

хілезність крові спостерігається через 3-4 години після споживання їжі. Далі відбувається поступове звільнення крові від хіломікронів.

α-ліпопротеїди **–** комплекси білків з ліпідами – фосфоліпідами, холестерином і гліцеридами. Найбільша кількість α-ліпопротеїдів міститься у фосфоліпідах. Тому вважають, що вони є основною транспортною формою фосфоліпідів.

β-ліпопротеїди **–** також комплекси білків з ліпідами, однак в них переважає холестерин. Отже, ці комплекси є основною транспортною формою вільного холестерину та його ефірів.

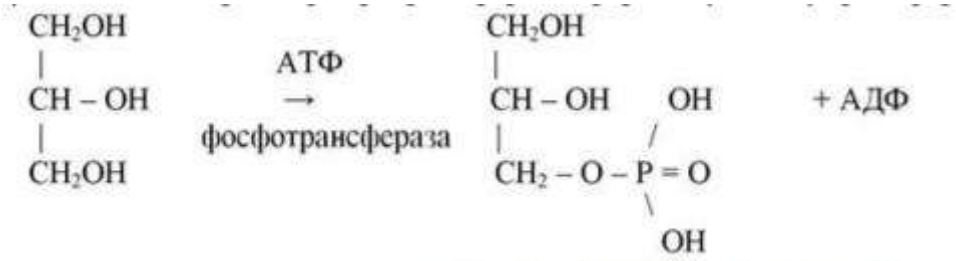
Вільні жирні кислоти циркулюють у крові також у сполуках з білками. Ці комплекси є найрухомішою транспортною формою ліпідів.

З током крові ліпіди у вигляді комплексів з білками надходять до органів і тканин організму, де одна частина їх відкладається в запас, а інша зазнає різних перетворень, залежно від умов і потреб організму.

Окиснення гліцерину. Найважливішою ланкою в ланцюгу численних перетворень ліпідів в організмі є проміжний (внутріклітинний) обмін. Саме на цьому етапі проходять катаболічні і анаболічні реакції, які забезпечують як асиміляцію ліпідів у вигляді пластичного матеріалу, так і окиснення їх до кінцевих продуктів. Під час окиснення ліпідів вивільнюється значна кількість енергії, яка нагромаджується в макроергічних зв'язках АТФ. Внутріклітинний метаболізм різних груп ліпідів крім спільних ознак має специфічні особливості.

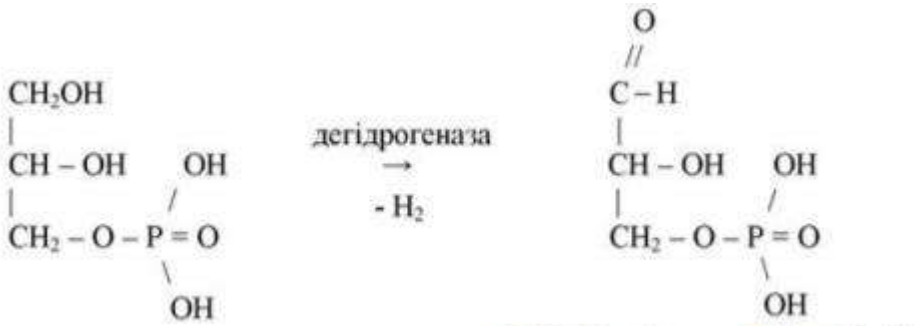
Процес ферментативного розщеплення ліпідів клітин до їх складових частин, які використовуються для різних потреб організму (енергетичних, пластичних), називається ***ліполізом.*** Цей процес найбільш інтенсивно відбувається в печінці і нирках.

Важливим процесом ліполізу є окиснення гліцерину. Розпочинається цей процес з фосфорилування гліцерину (перший етап) і проходить в присутності АТФ і при дії фосфотрансферази (ферменту з класу трансфераз):



α-гліцерофосфат (3-фосфогліцерин)

Другий етап – α-гліцерофосфат окиснюється під впливом дегідрогенази і утворюється 3-фосфогліцериновий альдегід:



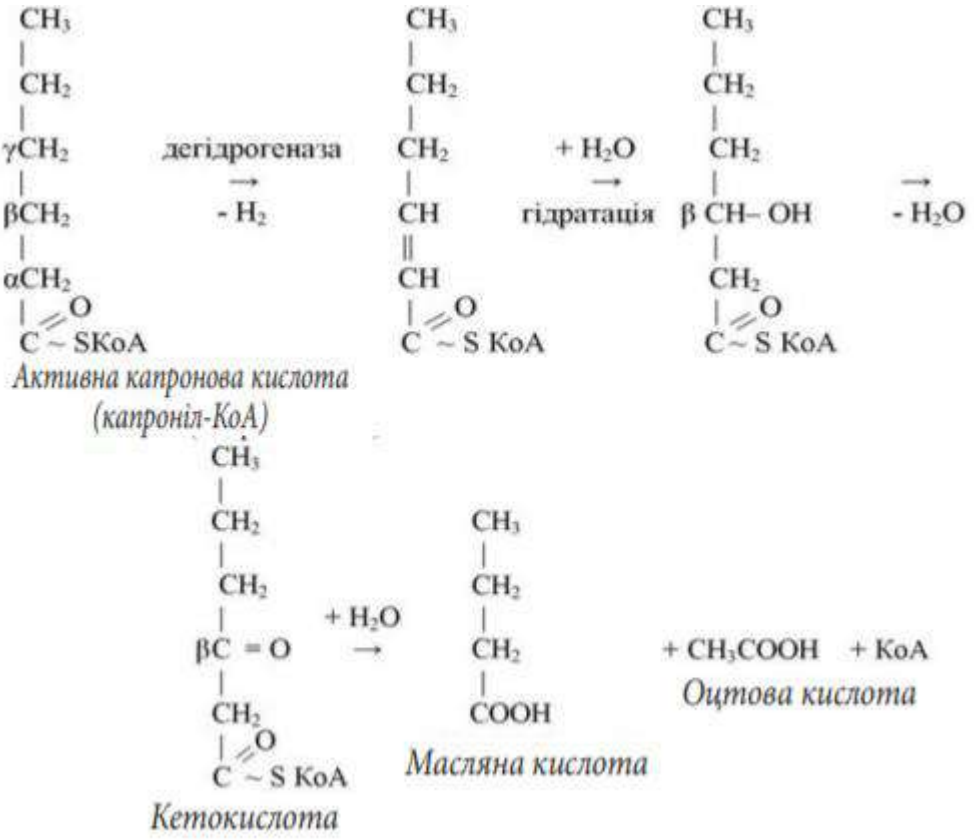
3-фосфогліцериновий альдегід

Подальше перетворення 3-фосфогліцеринового альдегіду проходить по схемі анаеробного розпаду вуглеводів.

Окиснення жирних кислот. Вперше припущення щодо механізму окиснення жирних кислот висловив німецький дослідник Ф. Кнооп у 1904 році. Пізніше він експериментально довів, що цей процес здійснюється поступовим відсіканням двовуглецевих фрагментів від вуглецевих ланцюгів жирних кислот з боку карбоксильної групи, внаслідок чого вищі жирні кислоти перетворюються в жирні кислоти з меншою кількістю вуглецевих атомів. Так, під час окиснення жирних кислот, що входять до складу природних жирів і містять парну кількість вуглецевих атомів, кінцевими продуктами окиснення є оцтова кислота та одна молекула чотирьохвуглецевої сполуки – масляної кислоти або її похідних (ацетооцтова або β-оксимасляна кислоти). Кінцевими продуктами окиснення жирних кислот з непарною кількістю вуглецевих атомів є оцтова кислота та одна молекула пропіонової кислоти. Оскільки процес окиснення жирних кислот розпочинається від вуглецевого атома, який знаходиться в β-положенні й окиснюється в найбільшій мірі, він дістав назву β-окиснення.

На початку 50-х років двадцятого століття гіпотеза Ф. Кноопа була доповнена новими даними завдяки дослідженням С. Очоа та інших вчених. Так, було встановлено, що процес β-окиснення жирних кислот здійснюється лише після активації їх специфічними ферментами, які містять у вигляді коферменту КоА-SH. Процес β-окиснення відбувається в мітохондріях клітин різних органів – печінки, нирок, серцевого м'яза, скелетних м'язів тощо (1948 рік, А.Ленінджер).

Розглянемо β-окиснення на прикладі окиснення капронової кислоти.

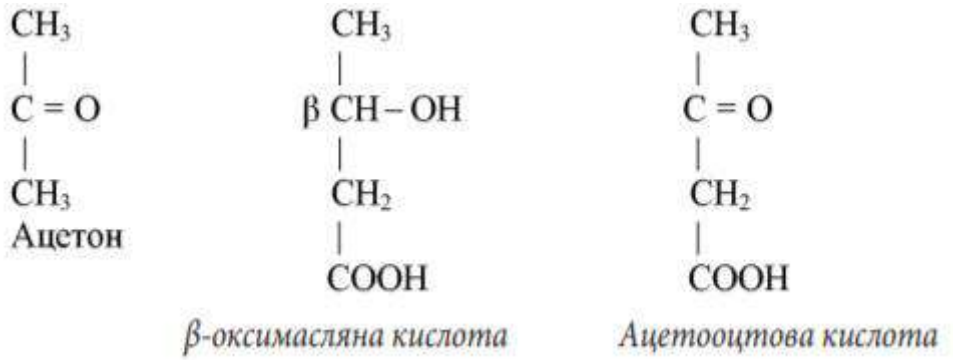


Далі масляна кислота знову проходить цей цикл і утворюється дві молекули оцтової кислоти. Всього з однієї молекули капронової кислоти утворюється три молекули оцтової кислоти. Оцтова кислота як кінцевий продукт β-окиснення активується і включається в цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса) і окиснюється до CO_2 і H_2O.

Окиснення ненасичених жирних кислот відбувається подібно до окиснення насичених, але ненасичені перед цим перетворюються в насичені (гідрогенізація).

β-окиснення є основним процесом перетворення вищих жирних кислот в організмі людини і тварин. Під час розщеплення жирних кислот до ацетил-КоА вивільнюється 30% енергії, акумульованої в них, а 70% енергії вивільнюється під час окиснення ацетил-КоА до CO_2 і H_2O в циклі трикарбонових кислот. За один цикл β-окиснення синтезується 5 молекул АТФ. При повному окисненні 1 молекули стеаринової кислоти до CO_2 і H_2O синтезується 153 молекули АТФ. Таким чином, β-окиснення жирних кислот є важливим джерелом енергії для організму.

Метаболізм кетонових тіл. В результаті β-окиснення жирних кислот утворюються кетонові (ацетонові) тіла: ацетон, ацетооцтова кислота, β-оксимасляна кислота:



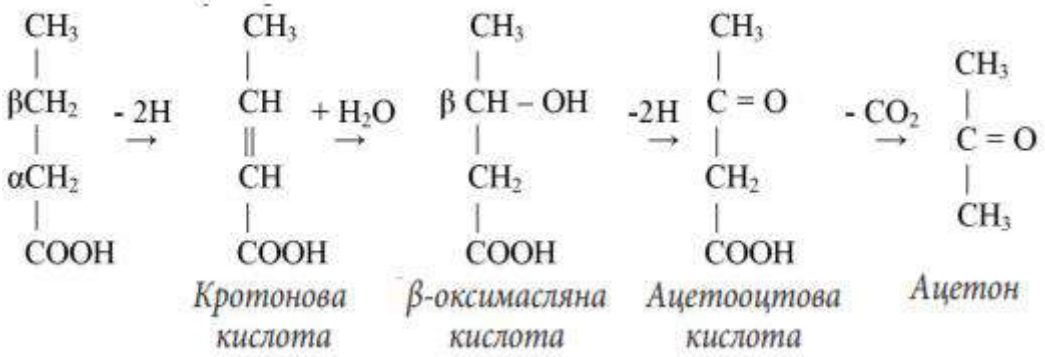
Кетонові тіла є в крові і в сечі. В нормі кількість кетонових тіл в крові – 7-10 мг%, в сечі – до 50 мг%.

При патології їх кількість зростає: в крові до 50 мг%, в сечі – до 300 мг%.

Підвищений рівень кетонових тіл у крові називається *кетонемія (ацетонемія),* в сечі – *кетонурія (ацетонурія)*.

Хвороби, що супроводжуються підвищенням рівня кетонових тіл, називаються *кетозами.*

Висока концентрація кетонових тіл у крові порушує кислотно-лужну рівновагу, викликає ряд патологічних змін у різних ланках обміну речовин в організмі, що може призвести до коматозного стану. Кетонові тіла утворюються з масляної кислоти:



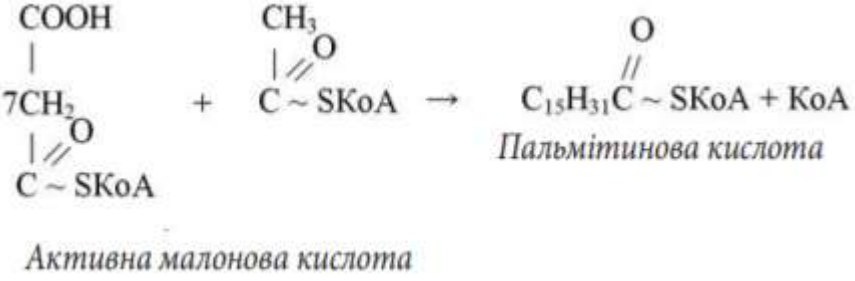
Ліпідний обмін порушується при кетозах. Кетози спостерігаються при пониженому вуглеводному обміні і використанні для окиснення великої кількості жиру (вуглеводне голодування); при голодуванні, коли використався запас глікогену і в обмін вступає велика кількість жиру; при цукровому діабеті; при посиленому масляно-кислому бродінні; при споживанні великої кількості концентратів і при порушенні діяльності печінки.

Біосинтез тригліцеридів. В організмі тварин і людини постійно відбуваються процеси біосинтезу ліпідів. Біосинтез ліпідів проходить у три етапи: утворюється гліцерин, утворюються вищі жирні кислоти і, нарешті, синтезуються тригліцериди.

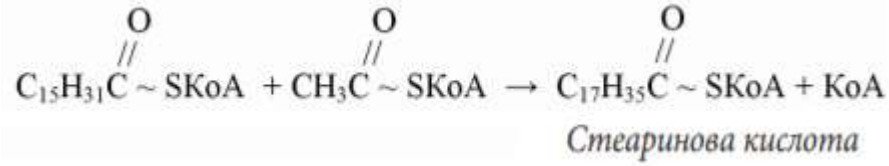
Вищі жирні кислоти в організмі синтезуються на поверхні мембран ендоплазматичної сітки трьома шляхами:

1. Синтез кислот, який нагадує зворотній шлях β-окиснення вищих жирних кислот, проходить в присутності КоА:

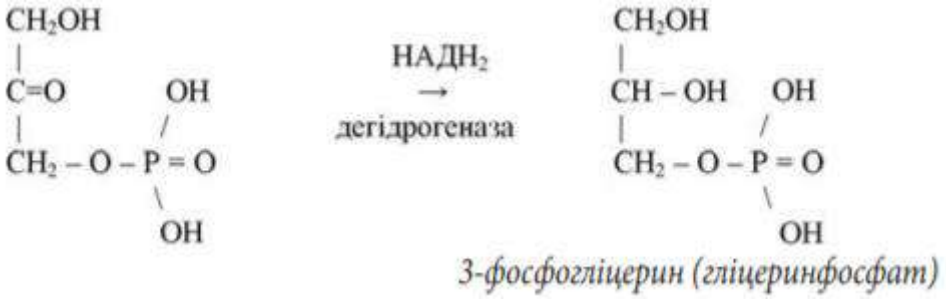
2. Конденсація кількох молекул активної малонової кислоти з однією молекулою активної оцтової кислоти:



3. Подовження вуглецевого ланцюга жирної кислоти:

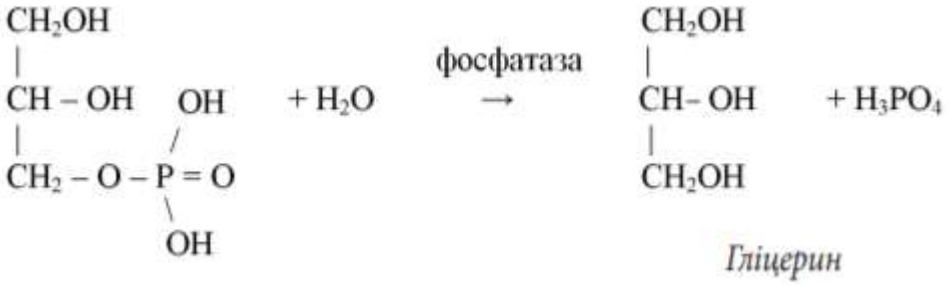


В організмах тварин і людини основним шляхом утворення гліцерину є відновлення проміжного продукту обміну вуглеводів – фосфодиоксіацетону за участю ферменту гліцерофосфатдегідрогенази:



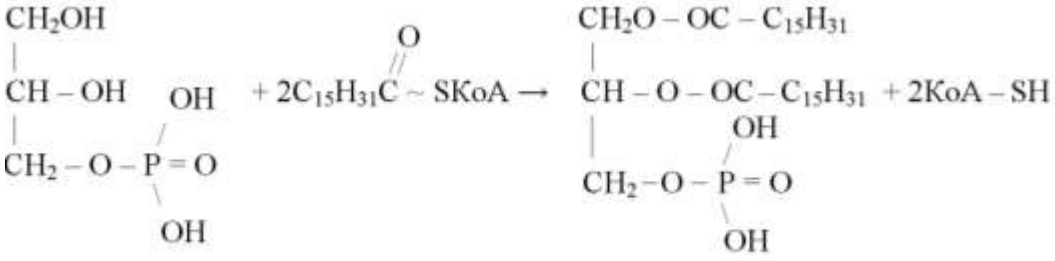
3-фосфогліцерин, що утворюється внаслідок цієї реакції, є активною формою гліцерину і може використовуватись для синтезу тригліцеридів і фосфоліпідів.

Частина гліцерофосфату при каталітичній дії фосфатази може гідролізуватись з утворенням гліцерину і фосфорної кислоти:



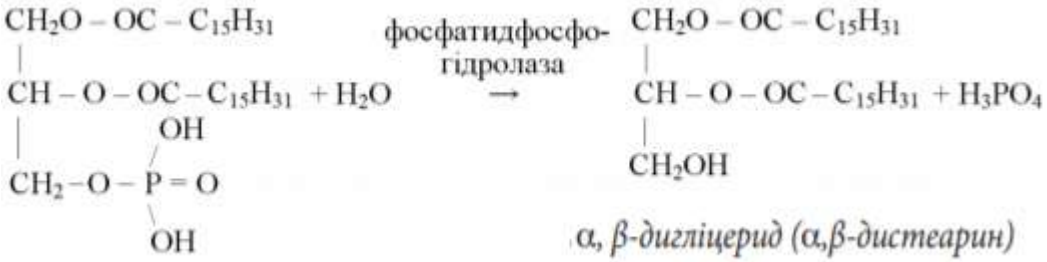
Утворення гліцерину в організмі проходить також при гідролітичному розщепленні тригліцеридів і фосфогліцеридів під впливом тканинних ліпаз. Процес біосинтезу тригліцеридів характерний для більшості органів і тканин організмів людини і тварин. Тканини, де проходить синтез жиру, називаються *ліпогенетичними* (стінка кишечнику, печінка, легені, гіпофіз, жирова тканина).

Для синтезу тригліцеридів необхідна наявність активного гліцерину і активних жирних кислот. Спочатку до двох залишків активної вищої жирної кислоти приєднується гліцеринфосфат. Утворюється фосфатидна кислота**:**



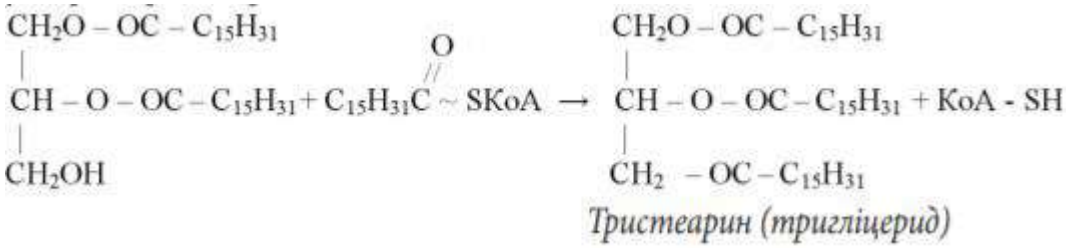
Фосфатидна кислота

Цей процес каталізується мультиферментним комплексом – гліцерофосфатацилтрансферазою:



α, β-дигліцерид (α,β-дистеарин)

α, β-дигліцерид під впливом того ж самого мультиферментного комплексу взаємодіє ще з однією молекулою активної жирної кислоти і утворює тригліцерид:



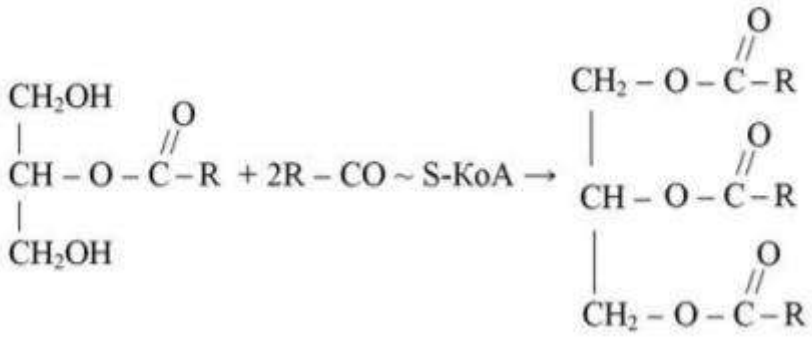
Тристеарин (тригліцерид)

Цей процес біосинтезу тригліцеридів називають *фосфатидним,* оскільки проміжним продуктом є фосфатидна кислота.

Другий шлях біосинтезу тригліцеридів – *моногліцеридний* – характерний в основному для слизової оболонки кишок.

Він здійснюється шляхом взаємодії β-моногліцериду з двома молекулами активної вищої жирної кислоти. При цьому утворюється відповідний тригліцерид.

Реакцію каталізує дигліцеридтрансацилаза:



Обмін холестерину. Важливу роль в обміні ліпідів відіграє холестерини. Холестерин – це зоостерин, що утворюється в тваринних організмах.

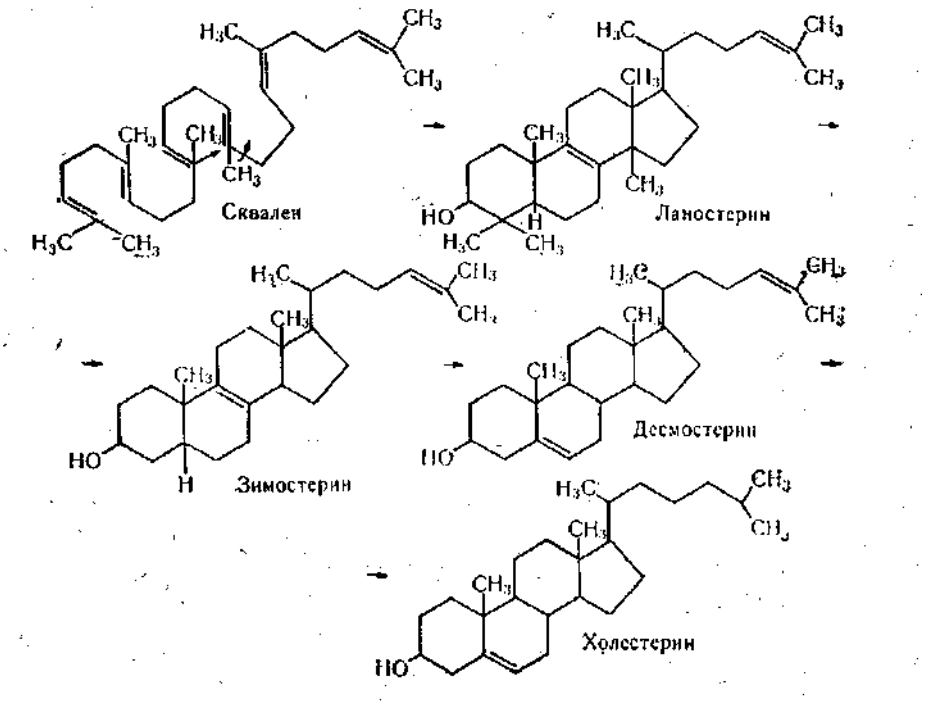
Холестерин ($C_{27}H_{45}OH$) – це одноатомний, високомолекулярний, поліциклічний, вторинний спирт. В основі його лежить циклопентанпергідрофенантренове кільце.

Холестерин нерозчинний у воді, але розчиняється в органічних розчинниках.

Найбільша кількість холестерину утворюється в тканинах печінки, головного мозку, надниркових залоз.

Вихідними продуктами для його синтезу є оцтова кислота, оцтовий альдегід, ацетооцтова кислота, ацетон, ізовалеріанова кислота. Будівельним блоком є ацетил-КоА.

В реакціях беруть участь багато ферментів, коферментів, гормонів, АТФ:



Холестерин характеризується високим ступенем обміну. При обміні перетворюється його боковий ланцюг, а кільце змінюється мало.

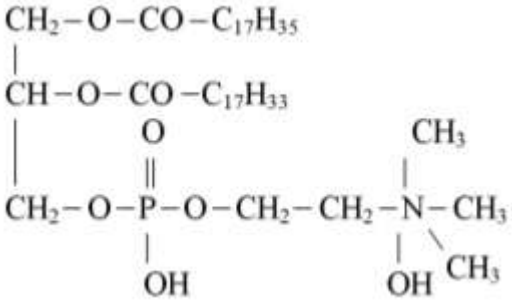
При обміні холестерину утворюється багато БАР. Їх утворення залежить від органу, де відбувається обмін. В шкірі з холестерину утворюється 7-дегідрохолестерин (провітамін вітаміну $Д_3$). З нього під впливом УФ-променів утворюється вітамін $Д_3$. В корі надниркових утворюються гормони – два мінералокортикостероїди (альдостерон, 11-дезоксикортикостерон) і чотири глікокортикостероїди (кортизон, гідрокортизон, кортикостерон, 11-дегідрокортикостерон). В печінці з холестерину утворюється холанова кислота, а з неї – жовчні кислоти. В статевих органах з холестерину утворюються чоловічі статеві гормони (андрогени) і жіночі статеві гормони (естрогени).

Важлива роль належить холестерину в утворенні клітинних мембран. Наявність холестерину в складі фосфоліпідного шару біологічних мембран забезпечує стабілізацію їх структури та виконання певних специфічних функцій. Надмірне відкладання холестерину є причиною атеросклерозу та жовчно-кам'яної хвороби. З холестерину утворюються ряд канцерогенних речовин, які можуть призводити до виникнення ракових захворювань (холантрен, метилхолантрен).

В організм людини холестерин надходить з продуктами харчування (0,2-1,2 г). Крім того, значна частина холестерину синтезується в організмі: за добу утворюється близько 1 г холестерину, причому 80% його утворюється в печінці. В крові людини вміст холестерину становить 150-200 мг/л.

З організму холестерин виводиться з калом у вигляді копростерину.

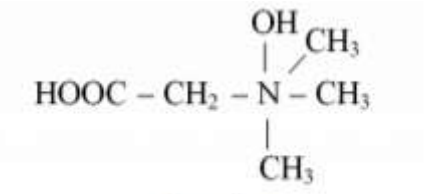
Обмін лецитинів. ***Лецитини*** – це складні ліпіди (фосфоліпіди), що містять в своєму складі гліцерин, два залишки вищих жирних кислот, фосфорну кислоту і азотисту основу холін:



При гідролітичному розщепленні лецитину під впливом фосфоліпаз А, В, С, Д утворюється гліцерин, вищі жирні кислоти, фосфорна кислота і холін. Гліцерин окиснюється до вуглекислого газу і води з виділенням енергії. Фосфорна кислота використовується для фосфорилування вуглеводів (глюкози), фосфорилування гліцерину, для утворення нуклеїнових кислот, коферментів, утворення макроергічних сполук, для утворення кісткової тканини. Жирні кислоти вступають в процес β-окиснення і окиснюються до оцтової кислоти.

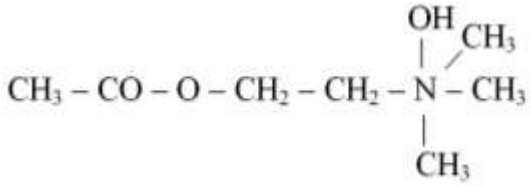
Холін перетворюється в мускарин, нейрин (токсична речовина, яка міститься в отруті змій і скорпіонів), або бетаїн (донатор метильних груп в реакціях транметилювання).

Вперше бетаїн було виділено із соку буряків, його виявлено також в рідинах внутрішнього середовища організму, а також у клітинах безхребетних тварин:



Бетаїн

Ще одним продуктом обміну лецитину є ацетилхолін:



Ацетилхолін

Ацетилхолін – один з медіаторів периферичної і центральної нервової системи. Після виконання ролі медіатора нервових збуджень ацетилхолін руйнується за участю ферменту ацетилхолінестерази. Цей процес має досить важливе значення, оскільки нагромадження ацетилхоліну негативно впливає на обмін речовин в організмі, викликає сповільнення частоти серцевих скорочень, звуження альвеол бронхів та розширення артеріол, призводить до отруєння організму.

Холін має виражену ліпотропну дію, попереджує жирову інфільтрацію печінки. В організмі холін може частково синтезуватися з серину. Нестача холіну на фоні дефіциту білка в раціоні є причиною розвитку дегенеративних процесів у печінці, які сприяють виникненню цирозу. Багато холіну у м’ясі, рибі, яйцях, бобових рослинах.

Регуляція ліпідного обміну. Обмін ліпідів регулюється нейрогуморальним шляхом, з участю відповідних ділянок кори великих півкуль головного мозку. Ці ділянки через вегетативні нервові волокна регулюють процеси перетравлювання і всмоктування ліпідів, їх біосинтез. Імпульси, які йдуть по симпатичних нервових волокнах, сприяють розпаду ліпідів у жирових депо, збудження по парасимпатичних нейронах – їх накопиченню. Ушкодження гіпоталамуса викликає ожиріння.

Гуморальна регуляція ліпідного обміну здійснюється гормонами залоз внутрішньої секреції, зокрема, гормонами передньої частки гіпофіза, підшлункової залози, щитоподібної і статевих залоз.

Гормон інсулін стимулює перехід вуглеводів у жири, адреналін і норадреналін збільшують швидкість ліполізу в жировій тканині. При цьому посилюється мобілізація жирних кислот із жирових депо і вміст жирних кислот в плазмі підвищується. При гіпофункції гіпофізу активізуються процеси

відкладання жиру в організмі – настає гіпофізарне ожиріння. Зворотній процес спостерігається при збільшенні синтезу соматотропного гормону (гормону росту), – внаслідок стимулювання ліполізу, вміст жирних кислот в плазмі крові збільшується. Видалення статевих залоз (кастрація) викликає у тварин надлишкове відкладення жиру.

Серед причини, які можуть спричинити порушення ліпідного обміну, багато таких, що пов'язані з патологією процесів перетравлення і всмоктування жирів:

• в результаті порушення секреції підшлункової залози (при недостатньому надходженні в кишечник панкреатичної ліпази);

• при порушенні надходження в кишечник жовчі;

• при надмірній перистальтиці кишечника;

• при ентеритах, гіповітамінозах та деяких інших патологічних станах шлунково-кишкового тракту;

• при пониженій здатності епітелію кишечника всмоктувати жири (кал містить багато нерозщепленого жиру або жирних кислот, які не всмоктались, і має характерний сірувато-білий колір);

• при відсутності у раціонах ліпотропних речовин (холіну, метіоніну), що призводить до жирового переродження печінки;

• при нестачі жиророзчинних вітамінів зменшується секреція жовчі, знижується всмоктування, виникають дерматити, проноси;

• при кетозах, коли в крові різко зростає кількість кетонових (ацетонових) тіл;

• при надлишку холестерину в крові (гіперхолестеринемія) посилюється відкладання холестерину у внутрішніх органах, особливо в тканинах печінки (жовчнокам'яна хвороба). У жовчних ходах і жовчному міхурі відкладаються жовчні камені, які на 90-99% складаються з холестерину. Холестерин може відкладатися і на внутрішніх стінках кровоносних судин, особливо артерій. Це призводить до втрати судинами еластичності, закриття їхнього просвіту і атеросклерозу судин, а також внаслідок розриву судин до інфарктів та інсультів.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Перетравлювання і всмоктування ліпідів в шлунково-кишковому тракті.
2. Ферментативний розпад лецитину.
3. Транспортні форми ліпідів.
4. Процес бета-окиснення вищих жирних кислот.
5. Метаболізм кетонових тіл.
6. Біосинтез вищих жирних кислот.
7. Біосинтез тригліцеридів.
8. Обмін холестерину.

4.4. Обмін білків

Загальна характеристика обміну білків. Обмін білків займає центральне місце серед усіх біохімічних процесів, які здійснюються в живому організмі. У процесах життєдіяльності білки не можуть бути замінені жирами, вуглеводами або іншими органічними сполуками. Це насамперед пояснюється тим, що саме білкові речовини необхідні для відтворення основних структурних елементів, для синтезу ферментів, гормонів та ряду інших біологічно активних речовин. Тривала нестача білків у раціоні зумовлює значні патологічні зміни, що може призвести до смерті організму.

Динаміку обміну білків в організмі часто характеризують балансом азоту, оскільки основна маса азоту потрапляє в організм з білками корму. Його визначають як різницю між кількістю азотовмісних речовин, які надходять в організм, і кількістю азоту, що виділяється з організму. Величину білкового розпаду визначають за величиною виведеного з організму азоту. В білках міститься 16% азоту. Для визначення кількості білка даного харчового раціону визначають вміст в ньому азоту і отриману величину множать на білковий коефіцієнт (БК) – 6,25. БК показує, що 1 г азоту міститься у 6,25 г білка (100:16).

Для визначення показника засвоєного азоту з його загального вмісту в кормі віднімають азот, який пройшов через шлунково-кишковий тракт транзитом, тобто азот калу.

Про рівень розпаду білка в організмі судять за величиною азоту, виведеного через нирки (з потом його виводиться незначна частина). Відношення кількості азоту, що надійшов в організм, до кількості азоту, виведеного з сечею, називається *азотним балансом* (АБ).

АБ буває позитивний, якщо кількість азоту, що надійшла в організм з кормом, більша кількості виведеного азоту через нирки, або негативним, коли кількість виведеного з організму азоту більша, ніж його надходить. У випадку, коли кількість виведеного через нирки азоту дорівнює кількості азоту, який надійшов з кормом (без врахування азоту, що не засвоївся), говорять про *азотну рівновагу*. Процес позитивного балансу азоту характерний для організмів з інтенсивним розвитком і ростом, вагітних, а також при швидкому рості пухлин і при інших станах організму, пов’язаних з інтенсивним синтезом білку. Негативний баланс азоту простежується в тому випадку, коли в організм надходить менше азоту, ніж його виділяється. Такий стан організму може мати місце при білковому голодуванні, деяких інфекційних захворюваннях, порушенні діяльності травного каналу і, звичайно, при старінні.

Баланс азоту може дорівнювати нулю, тобто кількість азоту, яка надходить до організму, дорівнює кількості азоту, яка виділяється (азотна рівновага). Цей вид азотного балансу властивий переважно здоровим дорослим організмам при нормальному повноцінному білковому харчуванні.

Вивчення балансу азоту має важливе значення при складанні раціонів для тих або інших видів тварин, зокрема, включення до його складу необхідної кількості білку.

Білки в організмі не можуть відкладатися про запас. Лише незначна кількість їх ненадовго затримується в печінці. Розпад білків в організмі залежить від величини їх надходження з кормами або харчовими продуктами. Чим більше білків, тим більша величина їх розпаду, і навпаки, – при зменшенні кількості отриманого білка зменшується і величина його розпаду. Таким чином, весь час підтримується азотна рівновага, проте кожен раз на новому рівні, який визначається кількістю білка у прийнятому кормі або їжі. При звичайному харчуванні азотна рівновага встановлюється за наявності у їжі близько 100 г

білка. Найменшу кількість білка, при якій ще підтримується азотна рівновага, називають *білковим мінімумом*. Його величина – 60 г білка.

Біологічна цінність білка визначається кількістю білка, який синтезується в організмі з 100 г білків корму або їжі. Найбільш висока біологічна цінність білків м'яса, яєць, риби, ікри, молока (70-90 %). Білки рослинного походження мають меншу біологічну цінність (білки житнього хліба, кукурудзи – 60%, картоплі, дріжджів – 67%). Проте повноцінний білок може бути замінений кількома неповноцінними білками. Таким чином, для нормальної життєдіяльності організму необхідно, щоб до складу харчового раціону входили усі повноцінні білки або набір неповноцінних білків, за амінокислотним вмістом рівноцінних повноцінним білкам.

Перетравлювання і всмоктування білків в шлунково-кишковому тракті. Перетравлювання білків проходить під впливом протеолітичних ферментів (відносяться до класу гідролаз, підкласу протеїназ). При розщепленні білків розриваються пептидні зв'язки.

Всі протеолітичні ферменти діляться на:

- *ендопептидази* – розщеплюють пептидні зв'язки всередині поліпептидного ланцюга;
- *екзопептидази* – розщеплюють пептидні зв'язки на кінцях поліпептидного ланцюга.

Розщеплення білків, що надходять в організм, починається в шлунку і закінчується в тонкій кишці. У ротовій порожнині білки не піддаються змінам, оскільки в слині відсутні протеолітичні ферменти (в ротовій порожнині корми механічно подрібнюється, змочується слиною і утворює харчову грудку, яка по стравоходу потрапляє в шлунок). Тут харчова грудка просочується шлунковим соком.

Основним ферментом, який розщеплює білки в шлунку, є пепсин, відкритий в 1836 році Т.Шванном, а в 1930 році виділений в кристалічному вигляді Ф.Нортропом.

Пепсин – це складний білок-фосфопротеїд, він утворюється в головних клітинах залоз слизової оболонки шлунку в неактивній формі, тобто у вигляді

проферменту – пепсиногену. Останній (пепсиноген) перетворюється в активний пепсин під дією HCl. Пепсин розщеплює білки до поліпептидів.

Молекулярна маса пепсиногену – 42000. Соляна кислота відщеплює від пепсиногену поліпептид масою 7000. Поліпептид молекулярною масою 35000 і є активний фермент пепсин. Пепсин має досить високу каталітичну активність – 1г кристалічного ферменту за 2 години може розщепити 50 кг денатурованого яєчного альбуміну. В 1 мл шлункового соку міститься близько 1 мг пепсину. Пепсин діє як на нативні, так і на денатуровані білки. Під його дією проходить розщеплення здебільшого внутрішніх пептидних зв'язків білку.

Пепсин гідролізує переважно пептидні зв'язки, утворені аміногрупами ароматичних амінокислот (фенілаланін, тирозин). Він розщеплює практично всі природні білки, за винятком кератинів вовни, фіброїнів шовку, муцинів слизу, овомукоїдів, деяких білків кісток і хрящів.

Фермент *катепсин* свою активність проявляє в молодому віці. Його оптимум pH =4,0-5,0.

У шлунковому соці грудних дітей, а також у телят та інших молодих жуйних тварин у сичузі міститься активний фермент *ренін (хімозин, сичужний фермент).* Ренін каталізує звертання молока, тобто перетворення розчиненого казеїногену в нерозчинний казеїн. Цей процес має досить важливе значення для молодих організмів, для яких молоко є основним продуктам харчування. Звертання молока в шлунках дорослих організмів може проходити і під дією пепсину.

Ренін виробляється в неактивному вигляді – прореніну, який при значенні pH < 5 перетворюється на ренін. Його каталітична дія проходить при участі солей кальцію. Ренін складається з одного поліпептидного ланцюга з молекулярною масою 34 тисячі. Має ІЕТ при pH = 4,5. Ренін використовують для виготовлення сиру, бринзи. В грибах сироїжках є подібний до реніну білок – русулін (звертає білок молока). У дорослих людей хімозин не синтезується.

В шлунку виразно кисле середовище і високоактивний фермент пепсин. Проте в звичайних умовах він не роз'їдає стінки шлунку. Це досягається активізацією таких трьох захисних механізмів:

- пепсин спочатку виробляється в неактивній формі – у вигляді пепсиногену;

- в захисті стінки шлунку від пошкоджуючої дії пепсину і соляної кислоти важлива роль належить слизовому бар'єру з великим вмістом муцину, який виробляється додатковими клітинами шлункових залоз;

- стінки шлунку дуже васкуляризовані (багато кровоносних судин), які мають слаболужну реакцію.

У тонкому кишечнику на білки їжі діють ферменти підшлункового соку і кишкового соку.

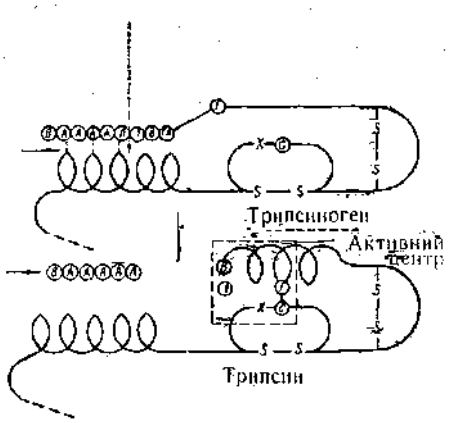
Сік підшлункової залози – це прозора рідина лужної реакції (pH 7,8–8,4) з вмістом ферментів, які діють на білки, ліпіди, вуглеводи. Першочергова роль у розщепленні білків належить *трипсину*. Він розщеплює близько 30% пептидних зв'язків білків. Трипсин виділяється у неактивній формі, тобто у вигляді трипсиногену.

Процес перетворення його в активну форму – трипсин відбувається за участю ферменту слизової оболонки кишок – ентерокінази (ентеропептидази). Для процесу активації важливе значення мають йони кальцію. Під впливом ентеропептидази від трипсиногену з N-кінця відщеплюється гексапептид, і залишається активний трипсин.

Трипсин побудований з одного поліпептидного ланцюга, який містить 229 залишків амінокислот і шести дисульфідних зв'язків. Оптимальну активність трипсин проявляє при pH = 7-8.

Трипсин діє гідролітично як на білки, що не розщепились у шлунку, так і на відносно високомолекулярні пептиди. При цьому він гідролізує пептидні зв'язки, утворені карбоксильними групами аргініну і лізину.

Майже 50% пептидних зв'язків розщеплюється *хімотрипсином.* Він виділяється у формі хімотрипсиногену, який під впливом трипсину перетворюється на хімотрипсин:



Фермент розщеплює пептидні зв'язки, утворені –СООН-групами фенілаланіну, тирозину і триптофану і $–NH_2$-групами інших амінокислот. Оптимальна активність хімотрипсину, як і трипсину, при pH=7-8. Решта пептидних зв'язків розщеплюється пептидазами кишкового соку і соку підшлункової залози – *карбоксипептидазами й амінопептидазами.*

До складу соку підшлункової залози входять *колагеназа* (розщеплює колаген) і *еластиназа* (гідролізує еластин). Діяльність ферментів активується мікроелементами: Mg^{2+}, Mn^{2+}, Co^{2+} тощо.

Амінокислоти, низькомолекулярні пептиди і простетичні групи, які утворились при перетравлюванні білків, всмоктуються мікроворсинками епітелію слизової оболонки тонкої кишки. Швидкість всмоктування різних амінокислот неоднакова: аргінін, метіонін, лейцин всмоктуються швидше; тирозин, цистеїн, фенілаланін – повільніше; серин, аланін, глутамінова кислота – ще повільніше.

Отже, білки в травному каналі внаслідок послідовної дії протеолітичних ферментів розщеплюються до структурних одиниць – амінокислот в невеликої кількості простих пептидів.

Перетравлювання білків проходить в порожнині кишок і на поверхні слизової оболонки (пристінкове травлення). У порожнині кишок розщеплюються білки, а на поверхні слизової оболонки – їх „уламки"- пептиди.

Особливості перетравлювання білків у жуйних зв'язані з тим, що у цих тварин багатокамерний шлунок, в якому є велика кількість мікроорганізмів, які населяють передшлунки (бактерії, інфузорії, гриби). Харчова грудка, яка потрапила в передшлунки, при ремиганні повертається в ротову порожнину,

додатково подрібнюється, і потім знову надходить в рубець, сітку, книжку і сичуг.

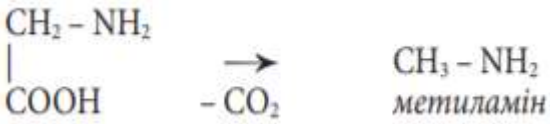
Особливістю травлення в передшлунках жуйних є те, що мікроорганізми можуть синтезувати білок з небілкових азотистих речовин, тому їм можна згодовувати небілкові азотисті речовини (зокрема, сечовину).

Основна маса рослинних кормів представлена клітковиною, яка під впливом ферментів мікроорганізмів розщеплюється до глюкози та інших моносахаридів. Ці моносахариди бродять, і в результаті бродіння утворюються леткі жирні кислоти (в основному – оцтова, пропіонова, масляна). Частина цих кислот йде на синтез амінокислот і власного білку за рахунок мікрофлори.

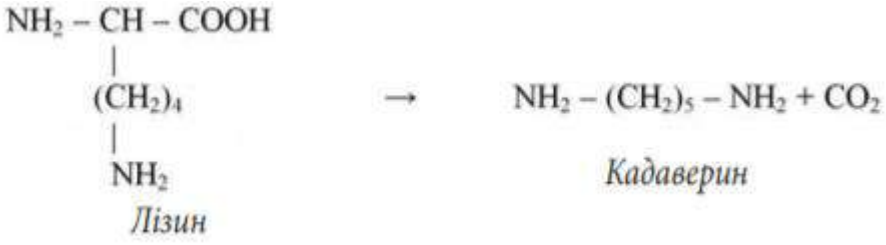
З амінокислот мікроорганізми синтезують білки, необхідні для свого існування. Залежно від раціону в рубці корів може синтезуватися 300-700 г бактеріального білку за добу.

Гниття білків і механізми знешкодження токсичних речовин. Окремі амінокислоти, які не всмоктались у тонкій кишці, та деякі білки, що не розщепились (білки кісток, зв'язок, сухожилок) потрапляють у товсту кишку, де за участю мікроорганізмів піддаються гниттю.

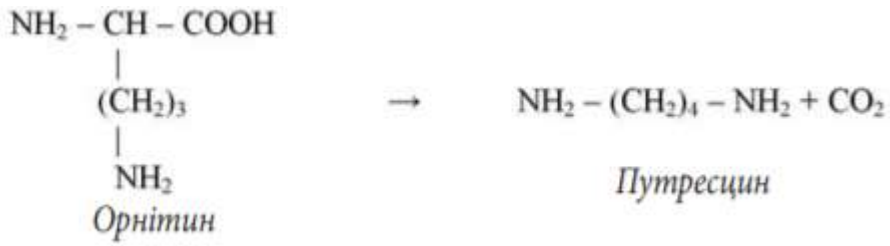
Гниття білків – процес розпаду білків під впливом ферментів мікроорганізмів з утворенням токсичних речовин. При гнитті білків утворюються токсичні клоачні гази (CO_2, NH_3, CH_4, H_2S) і різні аміни. Аміни утворюються при декарбоксилуванні амінокислот:



При декарбоксилуванні лізину утворюється кадаверин:



При декарбоксилуванні орнітину утворюється путресцин:



Ці аміни є отруйними сполуками, що належать до трупних отрут.

Із циклічних амінокислот утворюються:

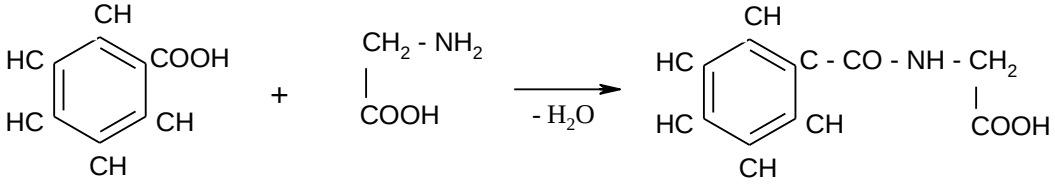
• з фенілаланіну – бензойна кислота;

• з тирозину – фенол і крезол;

• з триптофану – індол і скатол.

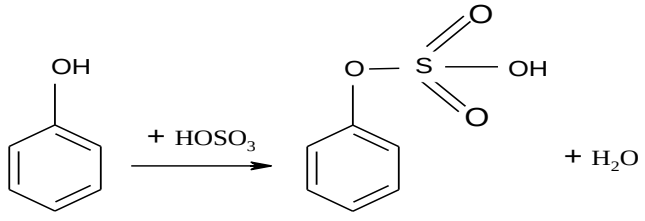
Всі ці речовини знешкоджуються в печінці шляхом утворення *парних (коньюгованих) сполук.* Цей процес проходить у печінці досить інтенсивно. Парними ці сполуки називаються тому, що вони складаються із залишків двох речовин.

Бензойна кислота знешкоджується шляхом з'єднання її з амінокислотою гліцином і утворенням *гіпурової кислоти.* Гіпурову кислоту було відкрито в 1829 році німецьким хіміком Ю.Лібіхом в сечі коня (кінь по грецьки – «гіпос»). Гіпурова кислота виділяється із сечею:



Гіпурова кислота

Знешкодження фенолу, крезолу, індолу і скатолу відбувається в печінці шляхом утворення парних сполук цих речовин із сірчаною кислотою і глюкуроновою кислотою (глюкуронова кислота утворюється з глюкози):



Фенол Фенолсірчана кислота

Подібно знешкоджується крезол. Для знешкодження індолу і скатолу вони спочатку піддаються окисненню, перетворюючись на індоксил і скатоксил, а тоді вже з'єднуються з сірчаною кислотою або глюкуроновою кислотою.

Індоксилсірчана кислота в сечі має назву індикан. Вона частіше зустрічається у вигляді натрієвих або калієвих солей. Велика кількість індикану в сечі вказує на посилений розпад білків тканин в організмі.

Під дією мікроорганізмів зазнає перетворень ще ряд амінокислот, зокрема, сірковмісних, з утворенням отруйних для організму сполук, які, в свою чергу, знешкоджуються в печінці і виводяться з організму з сечею і калом.

Процеси гниття білків інтенсивно розвиваються при потраплянні в організм недоброякісної їжі, порушенні режиму харчування, захворюваннях травного каналу, інших захворюваннях. Утворення токсичних продуктів негативно впливає на продуктивність сільськогосподарських тварин.

Під впливом різноманітних несприятливих чинників гармонія між окремими видами мікроорганізмів в травному тракті може порушуватись. Внаслідок зміненого характеру харчування, безконтрольного прийняття антибіотиків все частіше виникає *харчовий дисбактеріоз*. Сприяють оптимальним взаємовідношенням між мікробами (симбіотному травленню) різноманітне збалансоване за калорійністю і поживними речовинами харчування, включення в раціон великої кількості рослинних продуктів, недопущення крепів. Затримка харчових мас в кишечнику призводить до самоотруєння продуктами гниття білків і передчасного старіння. Щоб обмежити розвиток мікробів, які спричиняють гниття в товстому кишечнику, дієтологи пропонують регулярно споживати молочнокислі продукти.

Шляхи перетворення амінокислот. У процесі обміну білків в організмі постійно міститься певна кількість амінокислот. Вони утворюються внаслідок надходження амінокислот з білками кормів, амінокислот, що синтезуються з інших органічних сполук, а також внаслідок розщеплення білків різних органів і тканин. Частина цих амінокислот використовується для утворення білків і ряду інших біологічно важливих речовин, інша частина піддається різним хімічним перетворенням. Умовно проміжний обмін амінокислот можна

поділити на спільні шляхи обміну й індивідуальні перетворення окремих амінокислот (рис. 4.6).

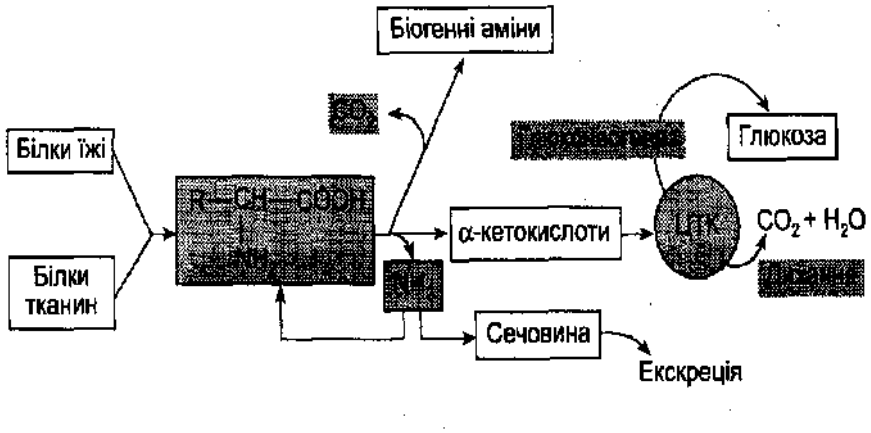


Рис. 4.6. Катаболізм амінокислот

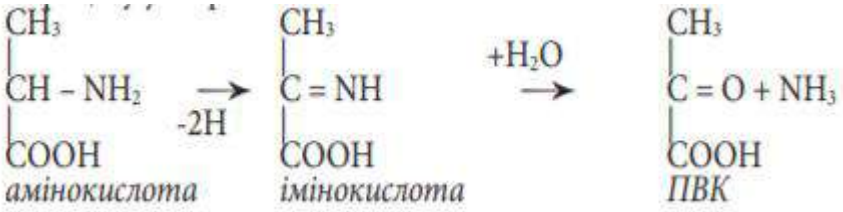
Перетворення амінокислот до кінцевих продуктів відбувається в печінці і проходить шляхом дезамінування, переамінування (трансамінування) і декарбоксилування.

Дезамінування амінокислот – процес відщеплення аміногрупи від амінокислоти з утворенням молекули аміаку. Дезамінування амінокислот відкрив в 1909 році німецький хімік К.Нейберг.

Відомо чотири види дезамінування: окисне, відновне, гідролітичне, внутрішньомолекулярне.

Каталізують ці процеси специфічні ферменти. Як наслідок утворюються відповідно кетокислоти, насичені жирні кислоти, оксикислоти та ненасичені жирні кислоти. В усіх цих випадках, незалежно від виду дезамінування, утворюється також аміак.

Найбільш поширеним є процес окисного дезамінування. В результаті цього процесу утворюються кетокислоти і аміак:



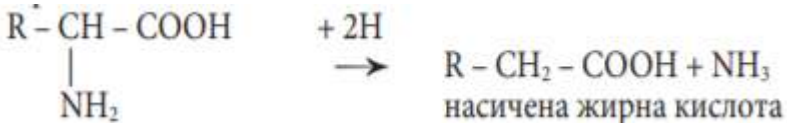
$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4OH$ – нашатирний спирт.

Каталізуються реакції дезамінування ферментами оксидазами (відносяться до класу окисно-відновних ферментів). Відщеплений від амінокислоти водень потім окиснюється киснем повітря до води.

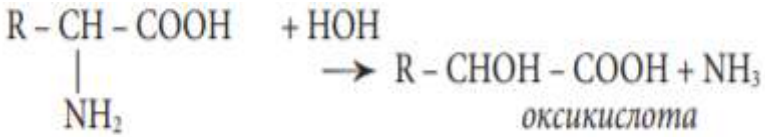
Окисне дезамінування має велике технічне значення в ряді бродильних виробництв, які базуються на використанні спиртового бродіння. Саме в результаті дезамінування утворюється цілий ряд побічних продуктів спиртового бродіння, які мають великий вплив на якість готової продукції – спирту, вина, пива.

При дезамінуванні амінокислот дріжджами утворюються кетокислоти, які піддаються в подальшому окисно-відновним перетворенням, в результаті яких утворюються так звані сивушні масла – суміш різних одноатомних спиртів, що надають неприємного запаху і присмаку етиловому спирту, вину або пиву. Наприклад, дезамінування лейцину приводить до утворення ізоамілового спирту; валіну – ізобутилового спирту тощо.

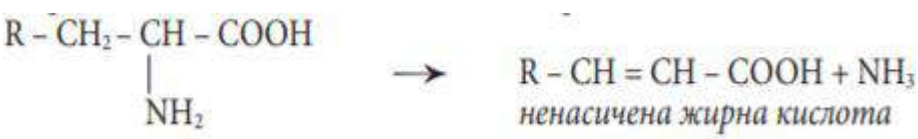
Під час відновного дезамінування амінокислоти перетворюються в насичені жирні кислоти:



Гідролітичне дезамінування пов’язане з перетворенням амінокислот а оксикислоти:



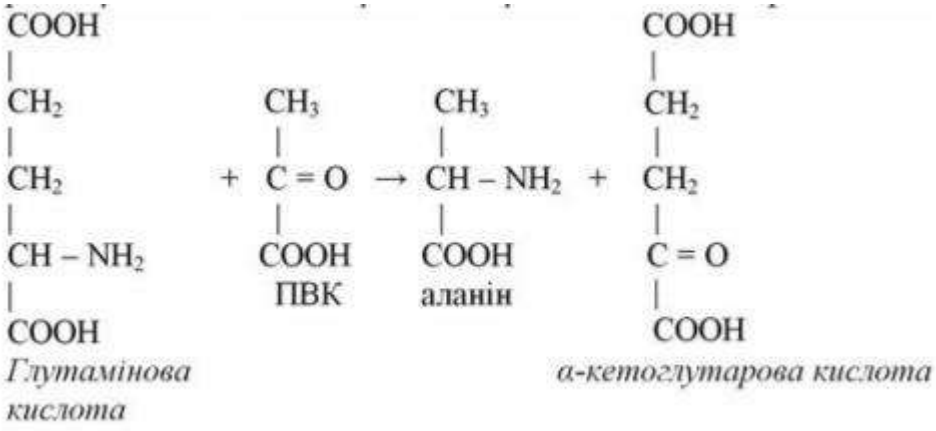
Внутрішньомолекулярне дезамінування характеризується перетворенням амінокислот в ненасичені жирні кислоти:



Іншим видом перетворення амінокислот є їх *переамінування (трансамінування).* Цей процес перетворення амінокислот дослідили радянські біохіміки О.Є.Браунштейн і М.Г.Кріцман у 1937 році.

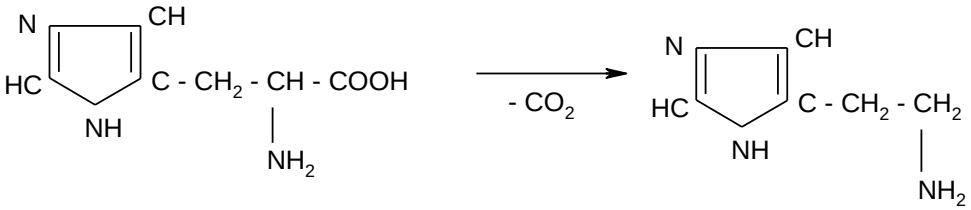
При переамінуванні амінокислоти і кетокислоти утворюються нова амінокислота і нова кетокислота.

Переамінування відіграє важливу роль у процесах синтезу необхідних для організму замінних амінокислот, відбувається у різних органах і тканинах. Кетокислоти, що утворились внаслідок переамінування, можуть використовуватись для синтезу ліпідів, вуглеводів та інших речовин.



В процесі трансамінування беруть участь ферменти амінотрансферази, коферментом яких є фосфорний ефір вітаміну B_6 (піридоксальфосфат).

Досить поширеним процесом перетворення амінокислот в рослинних і тваринних організмах є процес *декарбоксилування амінокислот*. Він пов'язаний з відщепленням від молекули амінокислоти вуглекислого газу за рахунок карбоксильної групи, в результаті чого утворюються відповідні аміни. Цей процес відкрив у 1876 М.Ненцький.



Гістидин Гістамін

Гістамін здатний розширювати судини, знижувати кров'яний тиск, а також активізувати діяльність залоз внутрішньої секреції.

Процес декарбоксилування каталізують ферменти декарбоксилази кетокислот, коферментом яких є піридоксальфосфат (фосфорний ефір вітаміну B_6).

Слід зазначити, що аміни, які утворюються в результаті декарбоксилування амінокислот, проявляють фізіологічну дію при досить малих концентраціях. Нагромадження їх в організмі може викликати порушення ряду біохімічних процесів.

Підсумовуючи перетворення амінокислот, слід зазначити, що за цих самих умов утворюються аміак, вуглекислий газ, карбонові кислоти, кетокислоти та інші сполуки. Якщо ці сполуки не використовуються в процесах синтезу, то вони піддаються подальшим перетворенням (крім аміаку і вуглекислого газу). Аміни внаслідок окисного дезамінування перетворюються в карбонові кислоти. Карбонові кислоти і кетокислоти, які утворились внаслідок розщеплення амінокислот, піддаються β-окисненню і в трикарбоновому циклі розщеплюються до кінцевих продуктів – води і вуглекислого газу.

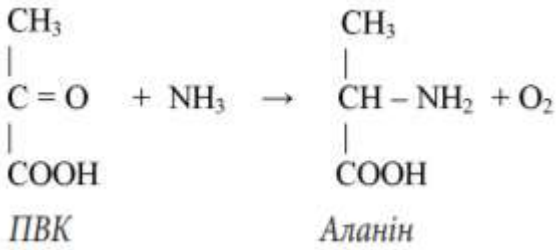
Шляхи знешкодження аміаку. Біосинтез сечовини. В результаті дезамінування, трансамінування і окиснення амінів вивільняється велика кількість аміаку, який є високотоксичною сполукою. Його допустима норма в організмі – 0,026%. Особливо шкідливо він впливає на центральну нервову систему, значно порушує процеси тканинного дихання. Тому аміак в процесі утворення відразу ж зв'язується з утворенням нетоксичних для організму сполук.

Токсичний аміак знешкоджується кількома шляхами. Близько 80-85% аміаку йде на утворення сечовини. Аміак з неорганічними кислотами утворює амонійні солі, які виділяються з сечею:

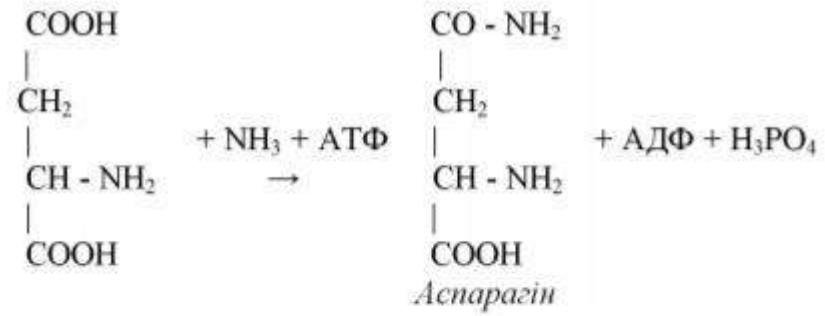
$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$

$NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow NH_4H_2PO_4$

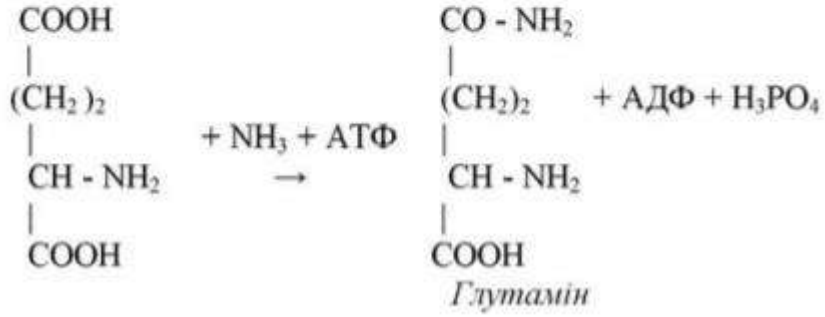
Частина аміаку йде на амінування ά-кетокислот з утворенням нових амінокислот:



Одним з важливих методів знешкодження аміаку є взаємодія його з аспарагіновою і глутаміновою кислотами і утворення відповідних амідів:



Аспарагін



Глутамін

Обидві реакції відбуваються за участю енергії АТФ, їх каталізують ферменти аспарагінсинтетаза і глутамінсинтетаза. Аспарагінова і глутамінова кислоти зв'язують аміак, перебуваючи як у вільному стані, так і в складі білків.

В організмах більшості тварин і людини знешкодження аміаку відбувається шляхом утворення сечовини. В сечовині міститься приблизно 90% азоту, який є в сечі.

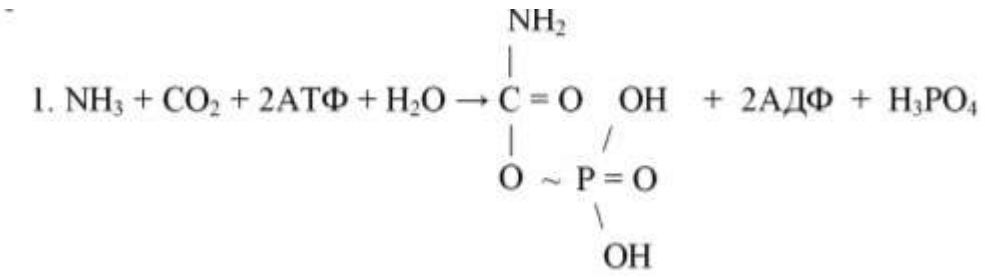
Сечовина (карбамід) – складова частина сечі, основний кінцевий продукт білкового обміну людини та більшості хребетних тварин. Ця біла кристалічна, добре розчинна у воді речовина, містить в собі близько 40% аміаку. Сечовина міститься в м'язах, крові, слині, лімфі та інших рідинах і тканинах організму. Вміст сечовини в крові 18-38мг/100мл. Основна маса сечовини виділяється з організму разом із сечею та потом. При захворюваннях нирок та інших видах патологій, особливо тих, що супроводжуються розкладанням тканинних білків, вміст сечовини в крові може значно підвищуватися.

Формула сечовини: $CO(NH_2)_2$.

Синтез сечовини з аміаку і вуглекислого газу проходить в печінці за участю АТФ. Невелика кількість сечовини синтезується в стінці тонкого кишечнику.

Утворення сечовини в печінці згідно з орнітиновим циклом Кребса, проходить в присутності орнітину, АТФ і відповідних ферментів.

Процес розпочинається із з'єднання аміаку, вуглекислого газу і АТФ з утворенням карбамоїлфосфату (реакція каталізується ферментом карбамоїлфосфатсинтетазою):



2. При участі ферменту орнітинкарбамоїлтрансферази карбамоїлфосфат з'єднується з орнітином і утворюється амінокислота цитрулін.

3. Цитрулін взаємодіє з аспарагіновою кислотою і утворюється аргініно-янтарна кислота.

4. Аргініно-янтарна кислота під дією аргініносукцинатліази розщеплюється на аргінін і фумарову кислоту.

5. Аргінін в присутності аргінази гідролізується і розщеплюється на орнітин і сечовину, яка виділяється з організму з сечею і потом. Орнітин вступає в реакцію з новими порціями карбамоїлфосфату, і цикл повторюється.

Фумарова кислота внаслідок гідратації перетворюється в яблучну, яка при дегідруванні переходить в щавлевооцтову, а остання, приєднуючи аміак, може перетворюватись в аспарагінову.

Орнітиновий цикл утворення сечовини представлений на рис. 4.7.

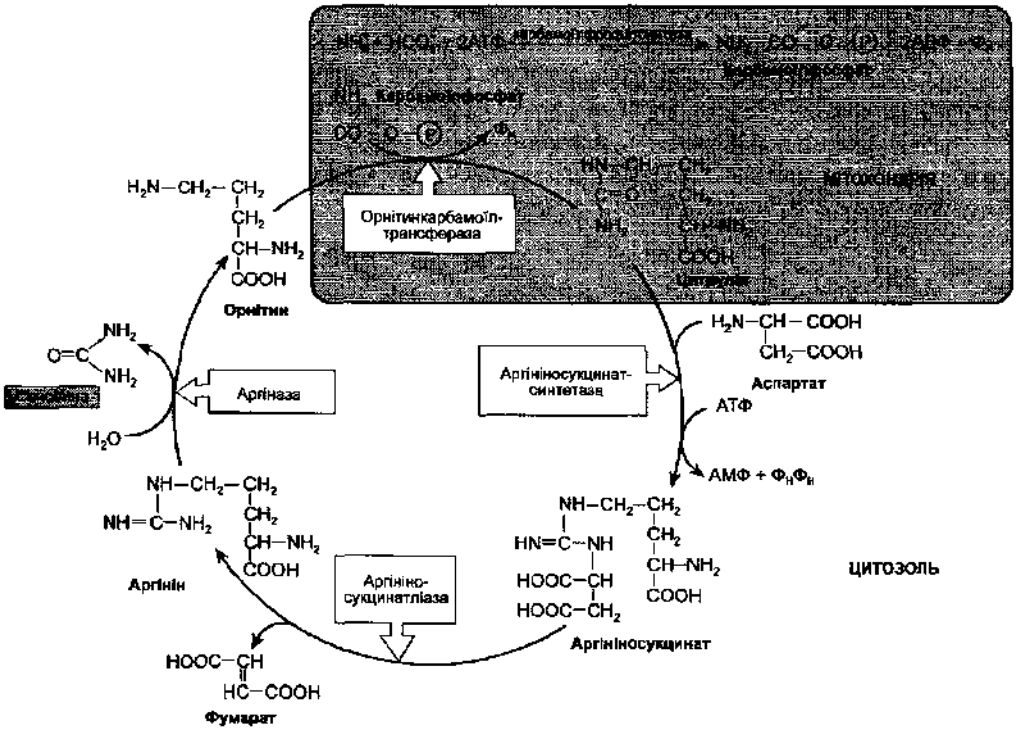


Рис. 4.7. Орнітиновий цикл синтезу сечовини у печінці

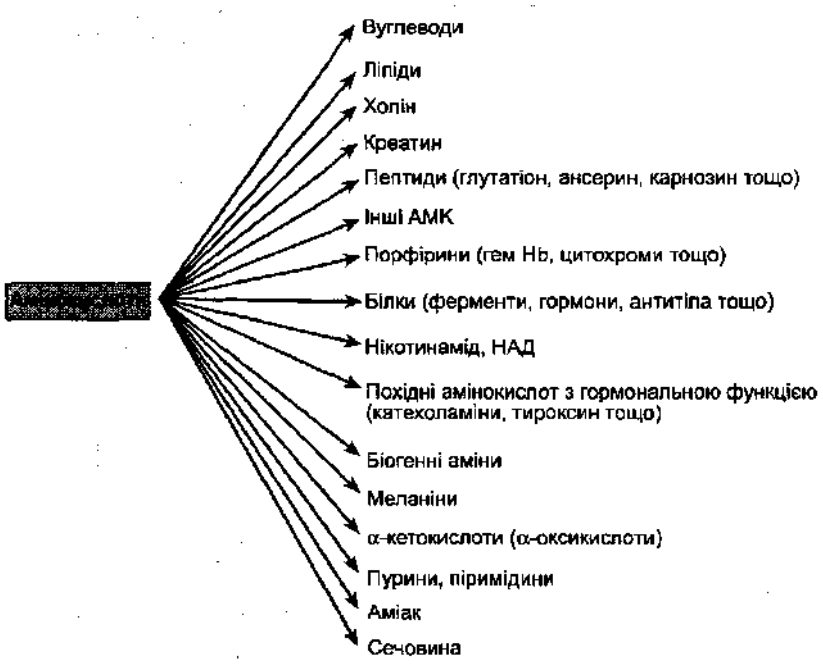
Слід зауважити, що є ряд фактів, які свідчать про використання сечовини в організмах тварин. Це властиве жуйним тваринам, які мають багатокамерний шлунок, що містить величезну кількість мікроорганізмів. У рубці карбамід розщеплюється ферментом уреазою, який виділяється мікроорганізмами, до аміаку і вуглекислого газу. З аміаку і продуктів розщеплення вуглеводів корму мікроорганізми синтезують власний білок, який надходить у сичуг і кишку, де перетравлюється і засвоюється організмом тварин. Саме ця особливість зумовлює широке практичне використання сечовини як часткового замінника білку в раціоні жуйних тварин.

У сечі птиць сечовини немає. Аміак у птиць йде на утворення аміду глутаміну, який є нетоксичним для плода.

Шляхи синтезу амінокислот. Живі організми здатні синтезувати необхідні для утворення білків амінокислоти. Рослини синтезують 20 амінокислот. Деякі мікроорганізми синтезують із простих попередників усі необхідні амінокислоти, інші – повинні отримувати їх в готовому вигляді.

Людина може синтезувати 10 із 20 амінокислот, необхідних для біосинтезу білків. Вони називаються замінним. Синтезуються замінні амінокислоти в

клітинах печінки, де є всі необхідні ферменти. Джерелом карбонових ланцюгів для замінних амінокислот є, переважно. Кетокислоти, що утворюються в циклі трикарбонових кислот. Тваринні організми використовують для синтезу азотистих сполук лише відновлений Нітроген у вигляді аміногруп. Аміногрупи для синтезу амінокислот постачає глутамінова кислота, яка утворюється з α-кетоглутарової кислоти в реакції відновного дезамінування. Глутамінова кислота є попередником глутаміну, проліну, джерелом аміногруп для синтезу аланіну, аспарагінової кислоти і аспарагіну, серину і гліцину в реакціях трансамінування. Гліцин утворюється із серину шляхом відщеплення оксиметильної групи за участю тетрагідрофолієвої кислоти. Для синтезу деяких амінокислот необхідні, як попередники, незамінні амінокислоти. Зокрема, тирозин утворюється з фенілаланіну за його окиснення гідроксилазою. Крім того, амінокислоти використовуються для синтезу інших сполук: порфіринів, гормонів, вітамінів, антибіотиків, алкалоїдів тощо:



Незамінні амінокислоти – валін, лейцин, фенілаланін, ізолейцин, метіонін, триптофан, треонін, лізин – людина отримує з продуктами харчування. Аргінін і гістидин належать до напівзамінних амінокислот.

Обмін хромопротеїдів. Актуальність проблеми обміну хромопротеїдів зумовлена, по-перше, широкою різноманітністю функцій, які вони виконують

і, по-друге, тим що зміни в синтезі або розпаді хромопротеїдів призводять до порушення життєво важливих функцій і розвитку захворювань.

Гемоглобін – залізовмісна сполука. В організмі тварин вміст заліза в середньому становить до 0,005% загальної маси. На долю гемоглобіну крові із цієї кількості (якщо взяти за 100% все залізо в організмі) приходиться 60-70%, на долю міоглобіну – 3-5%, феритину – від 17 до 23%, трансферину – близько 0,18%, функціонального заліза тканин – до 5%.

Та найбільша кількість кисню, яка може бути зв'язана гемоглобіном 100 мл крові, називається максимальною *кисневою ємністю крові* (КЄК). Оскільки 1 г гемоглобіну може приєднати 1,34 мл кисню, то КЄК з вмістом 15г% гемоглобіну складатиме 20,1 об.% (15 г 1,34 мл = 20,1 об'ємних відсотки). В 100 мл крові дорослої людини знаходиться 12-16 г% або 70-95 відносних відсотки (за 100% беруть вміст гемоглобіну, що дорівнює 16,7 у 100 мл крові).

Вміст заліза в організмі тварин і людини регулюється головним чином інтенсивністю всмоктування харчового заліза в кишечнику. Надлишок його просто не всмоктується. Потреба в залізі різко зростає при анеміях різного походження.

Харчове залізо всмоктується в кишечнику у вигляді неорганічного двохвалентного заліза (Fe^{2+}) після вивільнення його з комплексів із білками. В клітинах слизової оболонки кишечника залізо уже у трьохвалентній формі (Fe^{3+}) сполучається з білком апоферитином з утворенням стабільного комплексу феритину. Послідуючий транспорт заліза до місця кровотворення здійснюється в комплексі з β_1-глобулінами сироватки крові (комплекс отримав назву трансферину), або залізо сполучається з апоферитином тканин і у вигляді феритину депонується. При деяких захворюваннях надлишок заліза відкладається в клітинах ретикуло-ендотеліальної системи у вигляді гемосидерину, метаболічно інертного заліза з білком.

Гемоглобін, який потрапляє в кишечник, під впливом протеолітичних ферментів (пепсину, трипсину, хімотрипсину) перетворюється в гематин. Гематин погано всмоктується у внутрішнє середовище організму, а тому виводиться частково з калом, а частково під впливом бактерій перетворюється в

інші речовини. При цьому залізо із трьохвалентного перетворюється в двохвалентне.

Розпад еритроцитів, а отже і гемоглобіну відбувається в печінці, селезінці і кістковому мозку, в клітинах інших органів. Механізм цього процесу такий. Після розриву протопорфіринового кільця гему залізо окиснюється із двохвалентного в трьохвалентне. Цей процес каталізується ферментом оксидазою і приводить до утворення зеленого пігменту *вердоглобіну (холеглобіну).* В молекулі вердоглобіну зберігаються як атом заліза, так і білковий компонент. Від вердоглобіну відщеплюється білок глобін. Із гему звільняється залізо, яке сполучається з білком і утворює феритин з вмістом 22% заліза. Та частина, що залишилась від гему, перетворюється в жовчний пігмент зеленого кольору – *біліверди*н. Біліверди ферментативним шляхом відновлюється в печінці до *білірубіну*, що має червоний колір. Білірубін є основним жовчним пігментом у людини і м'ясоїдних тварин.

Основним місцем утворення білірубіну є печінка і селезінка. З печінки білірубін разом із жовчю надходить в жовчний міхур.

Білірубін, який утворився в клітинах ретикулоендотеліальної системи, має назву вільного («непрямого») білірубіну. Він погано розчиняється у воді і легко адсорбується на білках плазми крові. Для визначення білірубіну в крові необхідне попереднє осадження білків спиртом.

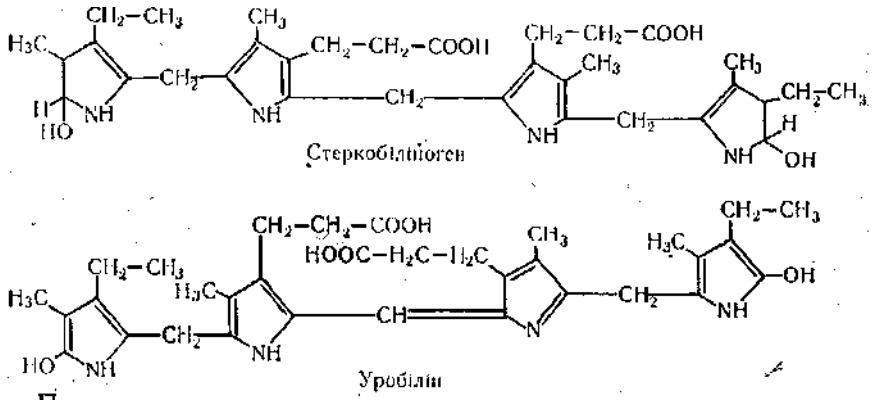
Підвищення концентрації вільного (непрямого) білірубіну в крові людини до 20 мг/л призводить до виникнення жовтухи (норма – 8 мг/л крові). Більш високий рівень білірубіну в крові викликає явища важкого отруєння. Вільний білірубін, поступаючи з током крові в печінку, піддається знешкодженню шляхом зв'язування з глюкуроновою кислотою. В цій реакції до білірубіну приєднується два залишки глюкуронової кислоти з утворенням комплексу – білірубін-диглюкуроніда, який добре розчиняється у воді і дає пряму реакцію з діазореактивом («прямий» білірубін). В жовчі завжди є «прямий» білірубін.

Кількість і співвідношення між «прямим» і «непрямим» білірубіном у крові різко змінюється при ураженнях печінки, селезінки, кісткового мозку,

хворобах крові, тому визначення обох форм білірубіну в крові має важливе значення в клініці при діагностиці різних форм жовтухи.

При жовчнокам'яній хворобі в складі жовчних каменів поряд з основним їх компонентом – холестерином – завжди є вільний білірубін. Із-за поганої розчинності у воді він випадає в осад в жовчному міхурі у вигляді білірубінату кальцію, який бере участь в утворенні каменів.

Білірубін, що поступив з жовчю в кишечник, піддається дії бактерій. Спочатку глюкуронова кислота відщеплюється від комплексу з білірубіном. Вивільнений білірубін відновлюється в стеркобіліноген, який і виводиться з калом. Стеркобіліноген легко окиснюється під дією світла і кисню повітря в *стеркобілін.* Невелика частина стеркобіліногену після всмоктування в кров потрапляє в нирки, де перетворюється в уробіліноген, який виділяється із сечею і на повітрі окиснюється киснем до *уробіліну:*



Відсутність уробіліногену в сечі при наявності білірубіну і біліверди ну є свідченням повного припинення надходження жовчі в кишечник. Такий стан часто спостерігається при закупорці протоку жовчного міхура (жовчнокам'яна хвороба) або загального жовчного протоку (жовчнокам'яна хвороба, ракові ураження підшлункової залози людини тощо). Таким чином, кількісний і якісний аналіз жовчних пігментів в сечі має велике діагностичне значення щодо вище згаданих захворювань.

Обмін нуклеопротеїдів. З кормами або їжею у складі складних білків (нуклеопротеїдів) в організм потрапляють нуклеїнові кислоти. Внаслідок послідовної дії ферментів, які знаходяться у шлунковому і кишковому соках,

нуклеопротеїди розщеплюються на прості білки і нуклеїнові кислоти. Прості білки далі розщеплюються до амінокислот, які всмоктуються.

Нуклеїнові кислоти, які утворились при розщепленні нуклеопротеїдів, розщеплюються під впливом комплексу ферментів, що мають загальну назву *нуклеази.* Відомо два види нуклеаз – ендонуклеази і екзонуклеази. Перші каталізують процеси гідролізу фосфоефірних зв'язків всередині молекул нуклеїнових кислот. Під їх впливом нуклеїнові кислоти розщеплюються переважно на олігонуклеотиди і велику кількість мононуклеотидів.

Екзонуклеази каталізують реакції послідовного відщеплення мононуклеотидів від одного з кінців полінуклеотидного ланцюга нуклеїнових кислот. Нуклеази, що розщеплюють РНК, називаються *рибонуклеазами*, а ті, що розщеплюють ДНК, – *дезоксирибонуклеазами*. Більшість нуклеаз є гідролазами, проте частина із них належить до групи фосфотрансфераз. Частина мононуклеотидів під впливом ферментів тонкої кишки нуклеозидаз розщеплюються на нуклеозиди і фосфорну кислоту.

Основними продуктами, які всмоктуються з кишечника у кров, є мононуклеотиди і нуклеозиди. Кров'ю вони переносяться до різних органів і тканин. Тут частина з них використовується для пластичних потреб, а інша частина розщеплюється далі і перетворюється в кінцеві продукти.

Нуклеотиди, що утворились, далі розщеплюються під впливом комплексу ферментів на простіші сполуки. Початковою стадією їх розщеплення є відщеплення фосфорної кислоти з утворенням відповідних нуклеозидів. Реакцію каталізують *нуклеозидази.* Нуклеозиди розщеплюються на азотисті основи і пентози.

Отже, внаслідок розщеплення нуклеотидів утворюються азотисті основи (пуринові або піримідинові), пентози (рибоза і дезоксирибоза) і фосфорна кислота. Рибоза і дезоксирибоза через ряд проміжних сполук окиснюються до води і вуглекислого газу, або вступають в інші реакції обміну. Фосфорна кислота використовується в організмі для утворення кісткової тканини, синтезу ліпідів, фосфорилування вуглеводів, утворення фосфопротеїдів, фосфоліпідів, нуклеїнових кислот, фосфатної буферної системи, утворення

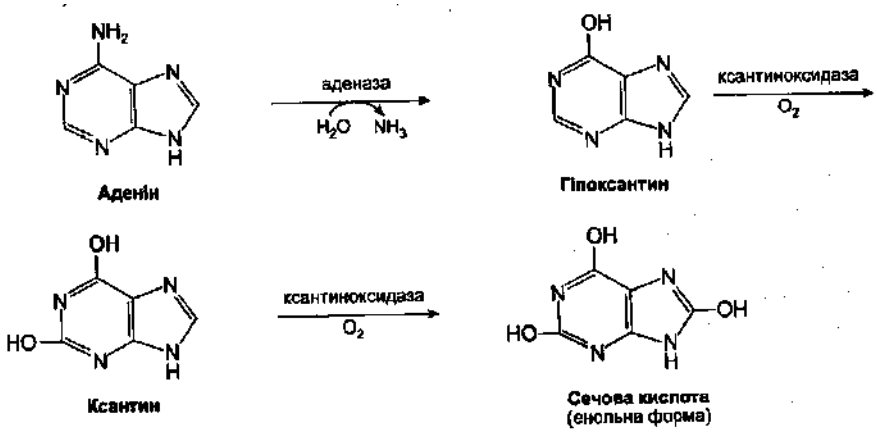
фосфорних солей і для синтезу АТФ. Із пуринових основ утворюється сечова кислота і алантоїн, а з піримідинових основ – сечовина і щавлева кислота.

Кінцевим продуктом пуринового обміну (А і Г) є сечова кислота. Це погано розчинний у воді білий порошок з голкоподібними кристалами.

Солі сечової кислоти (урати) при закисленості середовища легко випадають в осад і можуть відкладатися в суглобах, що призводить до захворювання – *подагри.* Особливо велика кількість солей утворюється при вживанні переважно м'ясних продуктів, багатих пуринами.

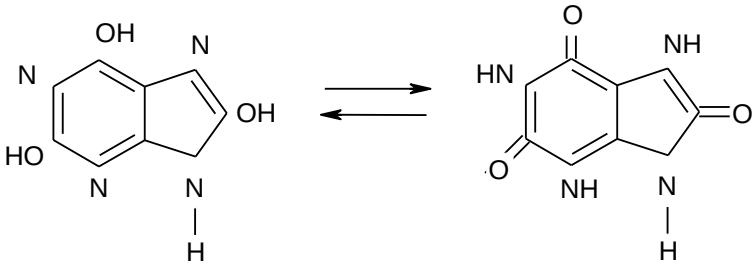
Певна кількість сечової кислоти міститься в печінці, крові, сечі, поті ссавців. Багато сечової кислоти міститься в пташиному посліді (коли послід висихає, то має білий колір). Пташиний послід – дуже цінне добриво.

Початковою стадією перетворення пуринових основ (аденіну і гуаніну) є їх дезамінування під впливом ферментів аденаз. Під час дезамінування аденіну утворюється гіпоксантин, який окиснюється до ксантину. Ксантин, в свою чергу, окиснюється до сечової кислоти під впливом ферменту ксантиноксидази:



Сечова кислота є кінцевим продуктом обміну пуринових основ в організмах людини і приматів. Упродовж доби через нирки людини із сечею виділяється близько 0,6-0,7 г сечової кислоти. Кількість сечової кислоти в сечі залежить від вмісту пуринів у їжі, від кількості нуклеїнових кислот, які розпались в організмі. При включенні в раціони продуктів, багатих пуринами, а також при лихоманці і лейкемії виділення із сечею сечової кислоти збільшується.

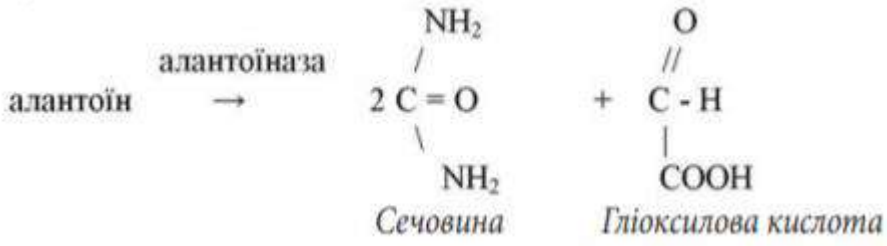
Сечова кислота може існувати у вигляді таутомерних форм – кетонної і енольної.



Енольна форма Кетонна форма

У більшості тварин (коней, собак, кролів тощо) кінцевим продуктом перетворення пуринових основ є *алантоїн.* Алантоїн утворюється внаслідок окиснення сечової кислоти за участю ферменту урикази (крім людини і людиноподібних мавп). Цей процес називається *уриколізом.*

В окремих бактерій та морських безхребетних алантоїн перетворюється в алантоїнову кислоту, яка далі розщеплюється на сечовину і гліоксилову кислоту:



При перетворенні піримідинових азотистих основ (Ц, Т, У) утворюються сечовина, щавлева кислота і вуглекислий газ.

Біосинтез білка. Проблема біосинтезу білка має важливе теоретичне і практичне значення. Вона тісно пов’язана з найактуальнішими питаннями сучасної біологічної науки: виясненням законів спадковості і мінливості, керування ростом і розвитком організмів, розкриттям причин виникнення і розробкою методів профілактики та лікування спадкових захворювань.

Відомо, що в організмах тварин і людини синтезуються мільйони різних білків. Вони відрізняються один від одного, насамперед хімічною природою та послідовністю розташування залишків амінокислот у поліпептидних ланцюгах, тобто первинною структурою.

У процесі біосинтезу білку беруть участь амінокислоти, нуклеїнові кислоти (ДНК і РНК), ферменти синтетази, АТФ, йони металів. Процес біосинтезу білків проходить в три стадії:

• *транскрипція* – процес копіювання даної інформації з ДНК на і-РНК і перенесення її до рибосом;

• *рекогніція* – процес сполучення амінокислот з т-РНК за участю ферментів;

• *трансляція* – процес передачі інформації з і-РНК на процес розміщення залишків амінокислот у білкових молекулах (рис. 4.8).

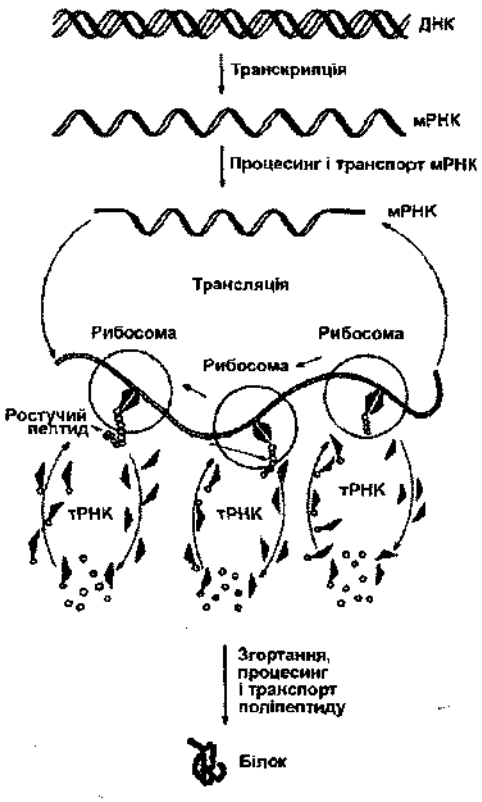


Рис. 4.8. Принципова схема біосинтезу білка (за А.С.Спіріним)

Узагальнено передачу інформації від ДНК на синтез білку можна подати схемою:

транскрипція трансляція

ДНК → і-РНК → білок

Транскрипція. Синтез і-РНК відбувається в ядрі клітини відповідно до одного з ланцюгів ДНК (принцип комплементарності). Інформаційна РНК є зв’язуючою ланкою між ДНК ядра і рибосомами – місцем біосинтезу білку.

Вона передає інформацію від ДНК, яка є матрицею, де запрограмовано відповідну первинну структуру білку, що синтезується, до рибосом. Процес транскрипції полягає у тому, що на ланцюгу ДНК ядра як на матриці проходить біосинтез і-РНК. При цьому і-РНК точно копіює послідовність розташування нуклеотидів одного з полінуклеотидних ланцюгів ДНК з тією лише відмінністю, що на місці тимінового нуклеотиду розташовується уридиловий нуклеотид. І-РНК, діставши інформацію від ДНК, у процесі біосинтезу переходить з ядра до рибосом, де бере безпосередню участь у формуванні первинної структури відповідного білку.

Послідовність чотирьох різних нуклеотидів, що становлять структуру нуклеїнових кислот, визначає послідовність розташування 20 залишків амінокислот у білку. У 1954 році було запропоновано триплетний код і встановлено, які нуклеотиди і в якому порядку у молекулі і-РНК відповідають різним амінокислотам. Ці дослідження провели М.У. Ніренберг і Х.Г. Корана, за що були удостоєні Нобелівської премії. Було вияснено склад кодонів для 20 амінокислот. До генетичного коду входить 65 триплети (таблиця 4.2.).

Таблиця 4.2

Генетичний код*

Перший нуклеотид	Другий нуклеотид: У		Другий нуклеотид: Ц		Другий нуклеотид: А		Другий нуклеотид: Г		Третій нуклеотид
У	УУУ	Фен	УЦУ	Сер	УАУ	Тир	УГУ	Цис	У
	УУЦ		УЦЦ		УАЦ		УГЦ		Ц
	УУА	Лей	УЦА		УАА	Терм	УГА	Терм	А
	УУГ		УЦГ		УАГ		УГГ	Трп	Г
Ц	ЦУУ	Лей	ЦЦУ	Про	ЦАУ	Гіс	ЦГУ	Арг	У
	ЦУЦ		ЦЦЦ		ЦАЦ		ЦГЦ		Ц
	ЦУА		ЦЦА		ЦАА	Глн	ЦГА		А
	ЦУГ		ЦЦГ		ЦАГ		ЦГГ		Г
А	АУУ	Іле	АЦУ	Тре	ААУ	Асн	АГУ	Сер	У
	АУЦ		АЦЦ		ААЦ		АГЦ		Ц
	АУА		АЦА		ААА	Ліз	АГА	Арг	А
	АУГ	Мет + Ініц	АЦГ		ААГ		АГГ		Г
Г	ГУУ	Вал + Ініц	ГЦУ	Ала	ГАУ	Асп	ГГУ	Глі	У
	ГУЦ		ГЦЦ		ГАЦ		ГГЦ		Ц
	ГУА		ГЦА		ГАА	Глу	ГГА		А
	ГУГ		ГЦГ		ГАГ		ГГГ		Г

Примітка. *Кодони зчитуються в напрямі 5′ → 3′. Терм.– термінуючі кодони. Кодон АУГ на початку трансляції є ініціюючим.

Окремі амінокислоти мають по кілька кодонів. Слід наголосити, що з 64 кодонів 61 визначає послідовність розміщення залишків амінокислот у поліпептидному ланцюгу, при цьому кодони ГУГ (валіновий), АУГ (метіоніновий) є також ініціаторними, стартовими кодонами.

Три інших кодони – УАГ, УАА, УГА – називають беззмістовними (нонсенс-кодони). Вони виконують функцію сигналів про закінчення синтезу поліпептидного ланцюга.

Генетичний код характеризується такими особливостями:

• він є універсальним – однаковим для всіх організмів – бактерій, рослин і тварин. Універсальність коду свідчить про те, що він з'явився на ранніх етапах розвитку живих систем, і, ймовірно, мало змінюється в ході еволюції;

• виродженість коду – два і більше триплетів можуть кодувати одну амінокислоту;

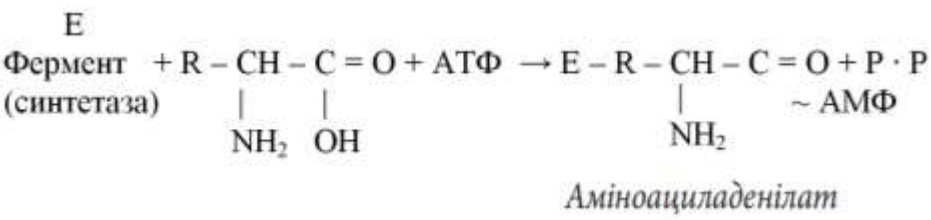
• код не перекривається – нуклеотиди, які входять до складу триплету, не беруть участі у формуванні наступних триплетів;

• неперервність коду – кожний триплет, який кодує відповідну амінокислоту, перебуває поряд з іншим триплетом без проміжних розділяючи ділянок (факторів);

• однонапрямленість коду – кодони під час синтезу білку транслюються в одному напрямку, починаючи з першої нуклеотидної основи.

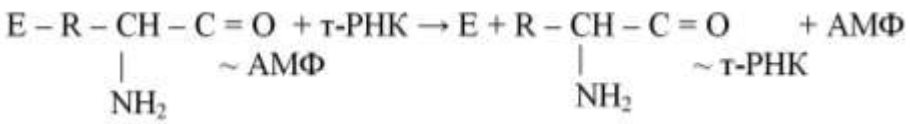
Рекогніція – процес активації амінокислот. Активація амінокислот відбувається у цитоплазмі за участю АТФ і ферментів аміноацил-т-РНК-синтетаз (аміноацилсинтетаз). Для кожної амінокислоти в клітині є специфічні ферменти.

Процес активації амінокислот відбувається в дві стадії. В першій стадії реакція активується катіонами Mg^{2+}, Mn^{2+}, Co^{2+}:



Аміноациладенілат

В другій стадії відбувається з’єднання аміноациладенілату із т-РНК (кожна амінокислота має власну т-РНК):



Ферменти аміноацилсинтетази проявляють високу специфічність. Для кожної з 20 амінокислот, що входять до складу білків, є своя, і лише одна аміноацилсинтетаза. Водночас, кожна з них „впізнає” всі т-РНК, специфічні для однієї амінокислоти.

Трансляція – безпосередньо синтез білка. Білок синтезується на рибосомах. За хімічною природою рибосоми – нуклеопротеїди, які на 50-65% складаються з РНК і на 35-50% з білків. Знаходяться рибосоми в клітині у вигляді скупчень від 3 до 100 одиниць – полісом. Біосинтез білку на рибосомах проходить в три етапи.

Ініціація поліпептидного ланцюга – початок синтезу. На цьому етапі дві сусідні аміноацил-т-РНК своїми антикодонами приєднуються до кодонів і-РНК, створюються умови для синтезу поліпептидного ланцюга. Формується перший пептидний зв’язок. Ці процеси активуються катіонами Mg^{2+}. Зв’язок виникає за рахунок СО-групи першої і NH_2-групи другої аміноацил-т-РНК. Джерелом енергії є енергія ГТФ.

Елонгація поліпептидного ланцюга. Ініціація поліпептидного ланцюга починається з N-кінця. Перша т-РНК, яка принесла свою амінокислоту, відщеплюється і йде в гіалоплазму за новою амінокислотою. Дипептид взаємодіє з третьою аміноацил-т-РНК, утворюючи трипептид, і друга т-РНК сходить з рибосоми в гіалоплазму і т.д. Пептидний ланцюг подовжується (елонгується) внаслідок приєднання нових залишків амінокислот. Рибосома поступово рухається по і-РНК, перетворюючи закодовану в ній інформацію в поліпептидний ланцюг. Створюється первинна структура молекули білку.

Термінація поліпептидного ланцюга. Починається при появі певних сигналів, якими є триплети УАА, УАГ, УГА (нонсенс-триплети). Рибосома сходить з і-РНК. До протилежного кінця і-РНК приєднується нова рибосома.

З’ясування суті механізму регуляції синтезу білку є досить складною проблемою, яка ще не повністю розв’язана і в наш час. Над вирішенням цієї проблеми упродовж кількох десятиріч працювала велика група вітчизняних і зарубіжних дослідників – генетиків, біохіміків, молекулярних біологів.

Логічним розвитком даних досліджень стала концепція регуляції синтезу білку, розроблена в 1961 році лауреатами Нобелівської премії французькими вченими Ф.Жакобо і Ж.Моно. Ґрунтується вона на даних спостережень за індукцією і репресією утворення ферментів у клітинах бактерій E.coli.

Сформульована в дослідах на прокаріотах, концепція регуляції синтезу білка Ж.Жакобо і Ж.Моно дістала широке визнання і в наш час вважається загальноприйнятою. Згідно з цією концепцією, регуляція синтезу білку здійснюється на рівні ДНК, молекула якої складається з певних ділянок – генів, згрупованих залежно від функцій, які вони виконують.

Одна група таких функціональних ділянок названа *структурними генами, або цистронами,* вони містять інформацію про синтез певних поліпептидних ланцюгів білку, на них відбувається синтез молекул і-РНК, яка далі надходить до рибосом, де виконує роль матриці в процесі біосинтезу білку. Початок синтезу і-РНК – зчитування генетичної інформації – розпочинається з функціональної ділянки ДНК, яка має назву *промотора* і є точкою ініціації її синтезу.

Іншу групу функціональних ділянок ДНК становлять *регуляторні гени,* які регулюють активність структурних генів шляхом їх „включення” та „виключення”. Регуляторні гени представлені геном-оператором, що знаходиться безпосередньо біля групи структурних генів, і геном-регулятором, що знаходиться від них на деякій відстані.

Ген-оператор є ніби пусковим механізмом, який, залежно від умов, дозволяє або гальмує синтез і-РНК на структурних генах ДНК. Вважають, що ген-оператор локалізований на крайньому відрізку цитронів і є, ймовірно, вихідним пунктом дії ДНК-залежної РНК-полімерази. Гени-оператори разом з групами структурних генів утворюють групи узгоджено діючих блоків-оперонів, кожен з яких відповідає за синтез білків, тобто оперон є одиницею

транскрипції. Діяльність гена-оператора регулюється *геном-регулятором.* Оскільки ген-регулятор і структурні гени оперону розташовані на різних ділянках ДНК, то зв'язок між ними забезпечують речовини-посередники – *білки-репресори,* які утворюються в рибосомах на матриці специфічної м-РНК. Матрична РНК синтезується на гені-регуляторі.

Свою назву білок-репресор дістав завдяки тому, що його дія на ген-оператор гальмує (репресує) діяльність останнього, внаслідок чого припиняється функціонування всієї групи структурних генів.

Білки-репресори проявляють спорідненість до гену-оператора і здатність до зворотнього зв'язування з ним. Крім того, білок-репресор здатний до специфічного зв'язування з певними низькомолекулярними речовинами, так званими *індукторами, або ефекторами.*

За звичайних фізіологічних умов репресори можуть перебувати в активному або пасивному стані. Перехід з одного стану в інший регулюється продуктами внутрішньоклітинного обміну або речовинами, що надходять із зовнішнього середовища.

Регуляція білкового обміну. Регуляція обміну білків здійснюється нервовою системою і гуморально – гормонами залоз внутрішньої секреції, біологічними речовинами дифузної ендокринної системи і біологічно активними продуктами проміжного і кінцевого обміну.

Нервова регуляція обміну білків пов'язана з функцією кори великих півкуль, лімбічної системи і проміжного мозку. По симпатичних нервах еферентні імпульси ідуть до скелетних м'язів, надниркових, щитоподібних та інших залоз; по симпатичних та парасимпатичних нервах – до печінки, нирок, інших внутрішніх органів.

У регуляції білкового обміну активну участь беруть гормони залоз внутрішньої секреції, зокрема, соматотропін (підсилює процеси синтезу білку); інсулін, тироксин, деякі андрогени і естрогени (стимулюють біосинтез білків); глікокортикоїди (стимулюють розщеплення білків і виділення з організму азотистих речовин).

Дія гормонів на обмін білків пов'язана із протіканням ферментативних реакцій. Активність ферментів біосинтезу білку залежить від наявності в їжі достатньої кількості вітамінів (наприклад, віт. B_2 – кофермент флавінових ферментів; віт. B_1 – кофермент ферментів декарбоксилаз кетокислот; віт. B_6 – кофермент ферментів декарбоксилаз амінокислот і амінотрансфераз).

Питання для контролю і самоперевірки

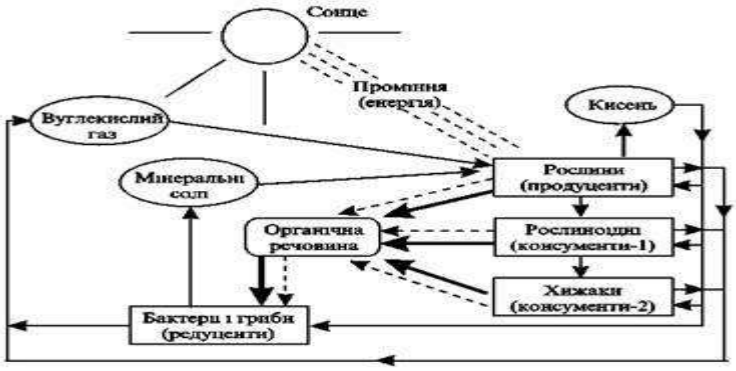
1. Перетравлювання і всмоктування білків в шлунково-кишковому тракті.
2. Гниття білків в товстому кишечнику і механізми знешкодження токсичних речовин.
3. Шляхи перетворення амінокислот.
4. Цикл синтезу сечовини.
5. Обмін гемоглобіну.
6. Перетворення азотистих основ.
7. Процеси біосинтезу білка.

4.5. Обмін води і мінеральних речовин

Будова молекули води та властивості води. Обмін води і мінеральних речовин – тісно взаємозв'язані процеси, адже вода в організмі знаходиться переважно у вигляді сольових розчинів.

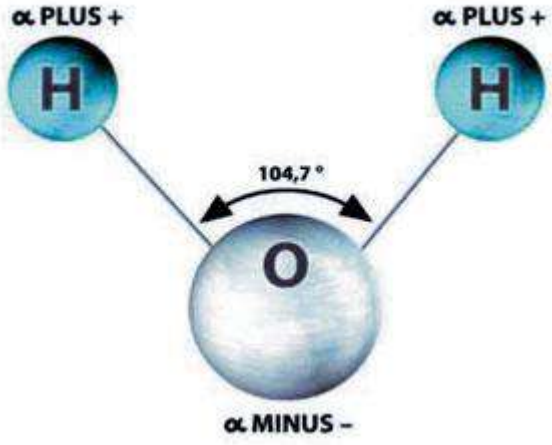
Роль води і мінеральних речовин для організму тварин і людини визначається цілим рядом функцій, в яких вони беруть безпосередню участь. Так, концентрацією мінеральних солей, розчинних у воді, зумовлена величина осмотичного тиску крові і тканинної рідини. Неорганічні речовини відіграють важливу роль в підтриманні кислотно-лужної рівноваги і в збереженні відносної сталості активної реакції крові, беруть участь в процесах всмоктування кінцевих продуктів травлення з шлунково-кишкового тракту в кров і лімфу, у процесах виведення з організму кінцевих продуктів обміну. В присутності води, а часто і з приєднанням молекул води проходять окисні процеси і інші хімічні реакції, зв'язані з вивільненням енергії. Вода бере участь у регуляції температури тіла, вона знижує величину тертя між окремими органами (в суглобах і внутрішніх органах), разом з мінеральними солями вода входить до складу травних соків.

Усі хімічні елементи, які в природних умовах утворюють розчинні у воді сполуки, у складі кормів та їжі, питних вод та повітря потрапляють у рослини, організм людини і тварин, утворюючи харчові ланцюги, або ланцюги харчування:



Нестача або надлишок у середовищі певних мінеральних елементів призводить до надлишку або нестачі їх у рослинах, в організмі людини чи тварин.

Унікальні властивості води зумовлені структурою її молекул. В молекулі води один атом кисню ковалентно зв’язаний з двома водневими атомами. Молекула води вигнута під кутом: у вершині кута знаходиться атом кисню, а по краях два атоми водню.



Оскільки кисень притягує електрони сильніше, ніж водень, молекула води полярна: її кисневий атом несе частково негативний заряд, а кожний з двох атомів водню – частково позитивний заряд. Частково негативний атом кисню однієї молекули води притягується частково позитивними атомами водню других молекул; тому молекули води зв’язані одна з однією водневими зв’язками.

Внаслідок особливої структури молекул води і їх властивості зв’язуватися між собою за допомогою водневих зв’язків вода має ряд життєво важливих

властивостей, в зокрема вона може злипатися сама з собою *(когезія)* та з іншими речовинами *(адгезія).* Когезією зумовлений поверхневий натяг води, за рахунок якого її поверхня покрита ніби „шкіркою". Воду можна налити в склянку „з верхом" і вона не проллється. Клопи-водомірки бігають по воді, як по суходолу.

Вода має капілярні властивості – здатність підійматися по тонкій скляній трубці, або по мілким порам, наприклад, в папері, в ґрунті, в рослинах тощо. Прилипаючи до поверхні скла або волокна, молекули води зчеплюються з нижче розташованими молекулами, втягуючи їх в скляну трубку або в пору.

Вода є універсальним розчинником, в ній розчиняється більше речовин, ніж в будь-якій іншій рідині. У воді розчиняється більшість органічних і мінеральних речовин.

Вода володіє високою теплопровідністю. *Теплопровідність* – це міра можливості теплоти поширюватись по даній речовині. В живому організмі безперервно проходять реакції, які супроводжуються виділенням тепла. Завдяки високій теплопровідності води це тепло рівномірно розподіляється по всій воді, що міститься в організмі. Завдяки цій властивості води усувається ризик виникнення локальних «гарячих точок», які могли б послужити причиною ушкодження окремих клітин, тканин або органів.

Вода має високу *температуру кипіння.* Для того, щоб примусити молекули води рухатись із швидкістю, достатньою для розриву водневих зв'язків, якими вони з'єднані, треба затратити багато теплової енергії. Досягнувши температури кипіння, рідка вода перетворюється в газ (водяну пару), в якому молекули вже не зв'язані між собою.

Випаровуючись, вода сприяє охолодженню тіла. Оскільки на випаровування води витрачається багато тепла, молекули, що досягли „швидкості утікання" і переходять із води в повітря, несуть з собою значні кількості теплової енергії. Виділення з потом 1 мл води пов'язане з втратою 0,58 ккал енергії. Багато живих організмів використовують цю властивість води для охолодження тіла.

Вода має високу *температуру замерзання*, а її густина максимальна при 4°С. Ссавці і птахи не замерзають тому, що температура їх тіла підтримується на достатньо високому рівні – 36-41°С.

Близько 72% води організму міститься всередині клітин *(інтрацелюлярна, або внутрішньоклітинна вода)*, а решта 28% – в позаклітинних просторах *(екстрацелюлярна, або позаклітинна вода)*.

Близько 8-10% позаклітинної води знаходиться у вільному стані (кров, лімфа, ліквор); вона мобільна і має властивості розчинника. Майже 5% води входить до складу гідратних оболонок біополімерів (імобільна, структурована вода). Ця вода втратила властивості розчинника.

Основна частина води (85%), що знаходиться в організмі, надходить з кормами або продуктами харчування – *екзогенна вода*; 10-15% води утворюється в організмі – *ендогенна вода*. Ця вода утворюється в результаті окиснення білків, ліпідів, вуглеводів. Так, при окисненні 100 г ліпідів утворюється 107,1 г води; 100 г білків – 41,3 г, 100 г вуглеводів – 55,5 г води.

Кількість води в організмі дорослої людини — близько 70 % маси тіла (у дітей до 80 % і більше), з них в кістках – близько 10 %, в плазмі крові – понад 90 %, в клітинах головного мозку – 75 % і в м’язах – 75 %. Навіть незначні втрати води приводять до помітного погіршення стану здоров’я людини, а втрати більше 20 % води спричиняють смерть. Без води людина не може прожити більше 8-10 днів.

Обмін води. Обмін води включає три основні етапи – всмоктування, проміжний обмін і кінцевий обмін води. Всмоктування води починається в ротовій порожнині і стравоході (тут всмоктується незначна частина води). Деяка кількість води всмоктується у шлунку; основна частина води всмоктується в тонких кишках; решта – у товстому кишечнику.

Вода всмоктується переважно завдяки перебігу процесів дифузії і осмосу, а також частково в результаті активного транспортування і піноцитозу. Деяка кількість води надходить в організм через лімфатичну систему. Після всмоктування вода транспортується до клітин і тканин в основному за допомогою альбумінів і глобулінів плазми крові.

Відношення кількості прийнятої упродовж доби води до виділеної через нирки і потові залози складає *водний баланс.*

За нормальних умов в організмі спостерігається *водна рівновага* – стан, коли кількість води, що надійшла в організм, дорівнює кількості виділеної. *Позитивний водний баланс* характерний для організмів, що ростуть, а *негативний* – для старіючих організмів, а також при недостатньому надходженні води в організм.

З організму у навколишнє середовище вода виділяється з сечею (50%), з потом і видихуваним повітрям (до 35%), з калом (до 15%).

Добова потреба у воді зростає при високій температурі зовнішнього середовища та при порушенні регуляції водного обміну, зокрема при зміні характеру їжі (наприклад, після вживання солоної їжі).

Встановлено різнонаправлений вплив на властивості води магнітних полюсів. Так, при дії північного полюсу вода структурується і набуває антибактеріальних властивостей, попереджує інфекції та ріст пухлин, під дією південного полюсу вода, навпаки, активізує як інфекційний, так і пухлинний ріст. Відомі біоенергоінформаційні властивості води.

Постійний склад води в організмі – обов'язкова умова його повноцінного існування. Встановлена залежність між якістю питної води і рівнем захворюваності сечостатевої системи, вродженими вадами розвитку, алергійними захворюваннями, хворобами крові тощо. В ряді випадків вода є джерелом розповсюдження радіонуклідів, накопичення яких в тканинах залоз внутрішньої секреції сприяє підвищенню рівня онкозахворюваності.

Науковцями намічені шляхи розвитку водної медицини, одним із завдань якої є розробка методик обробки води як носіїв інформації. Вода структурована чи деструктурована може використовуватись для активізації, збудження чи сповільнення перебігу процесів обміну речовин, для біологічної регенерації, реабілітації та «омолодження», підвищення імунної реактивності організму тощо. Спеціальне біоенергетичне програмування води сприятиме захисту від дії алергенів, електромагнітних полів та випромінювань Землі.

Наслідком порушень водного обміну є ураження ЦНС і залоз внутрішньої секреції, хвороби нирок і серця (утруднення руху води і виникнення позитивного водного балансу), загальне і водне голодування організму (виникненням голодних набряків) тощо.

Класифікація та характеристика хімічних елементів. Із всіх хімічних елементів періодичної системи Д.І.Менделєєва в живих організмах виявлено близько 70, причому 47 містяться в тканинах і клітинах постійно. Це так звані *біогенні елементи*. Найбільший відсотковий вміст в клітинах припадає на Оксиген (65-70%), Карбон (15-18%), Гідроген (8-10%), Нітроген (2-3%). Їх називають *органогенними елементами*.

Залежно від кількісного вмісту в організмі всі мінеральні речовини поділяють на макро,- мікро- і ультрамікроелементи. До *макроелементів (від 10^{-1} до 10^{-2}%)* належать Кальцій, Калій, Натрій, Магній, Фосфор, Хлор, Сульфур; до *мікроелементів (від 10^{-2} до 10^{-6}%)* – Кобальт, Цинк, Купрум, Манган, Хром, Бром, Бор, Йод, Фтор, Ферум; до *ультрамікроелементів (менше 10^{-6}%)* – Ванадій, Плюмбум, Талій, Барій, Кадмій та ін.

Фізіологічна роль окремих мінеральних речовин багатогранна. Мінерали підтримують осмотичний тиск в тканинах, входять до складу кісток, зубів, гемоглобіну, ферментів, гормонів тощо.

Для організму тварин та людини особливе значення мають Нітроген, Фосфор, Натрій, Калій, Кальцій, Ферум, Магній.

Натрій є основним чинником підтримання осмотичного тиску крові, лімфи і тканинної рідини. Його споживають додатково у вигляді хлориду натрію (кухонної солі) в кількості 4-6 г на добу. При значному потовиділенні потреба в цьому мінералі зростає до 20-30 г. Надмірне споживання солі може спричинити порушення мінерального обміну із затримкою рідини в тканинах (набряки), підвищення артеріального тиску тощо.

Кальцій відіграє важливу роль в забезпеченні збудження м’язових і нервових волокон, він входить до складу зубів, необхідний для звертання крові. Багато цього мінералу в молочних продуктах, в листках капусти, шпинату.

Фосфор є складовим компонентом кісткової, м'язової і нервових тканин, аденозинтрифосфорна кислота (АТФ) і креатинфосфат – обов'язкові компоненти в механізмі м'язового скорочення. Багато Фосфору в яйцях, рибі і м'ясі.

Калій входить до складу внутрішньоклітинної рідини. Він відіграє важливу роль в процесах збудження (в діяльності натрій-калієвої помпи), в деполяризації і реполяризації м'язових волокон. При недостатності Калію в організмі порушується ритм серцевих скорочень, в тканинах затримується значна кількість рідини. Багато Калію виділяється з організму при посиленому потінні. Багаті Калієм картопля, абрикоси, молочні продукти, яйця, овочі, фрукти. Добре засвоюється Калій з овочевих і фруктових соків, компотів та овочевих супів, значно гірше – з мінеральної води і хімічних препаратів.

Ферум входить до складу гемоглобіну еритроцитів, міоглобіну м'язів, він відіграє важливу роль в кровотворенні. При недостатності елементу в харчовому раціоні розвивається анемія (малокрів'я), знижується вміст гемоглобіну і рівень кисневої ємності крові. Для відновлення вмісту Феруму в організмі необхідно споживати продукти, багаті цим мінералом – печінку, яйця, яблука, гречку, гречаний мед або ж приймати препарати заліза.

Потреба організму в мікроелементах невелика, проте вони відіграють важливу роль в його життєдіяльності. Так Йод входить до складу щитоподібної залози, Кобальт – складова частина вітаміну B_{12}, Купрум, Цинк є необхідною складовою частиною ферментів – каталізаторів біохімічних процесів. Мікроелементів багато в овочах, яйцях рибі, печінці, молоці, горіхах.

Обмін мінеральних речовин. Мінеральні речовини надходять в організм у складі кормів і води. Обмін мінеральних речовин включає їх засвоєння, перетворення та виділення, а також розподіл і участь в метаболічних реакціях організму.

Ті мінеральні елементи, які поступають в організм у вільному стані, засвоюються без попередньої переробки, а ті, що перебувають у зв'язаному вигляді, засвоюються тільки після дії ферментів травного каналу і перетравлювання їжі.

Засвоюються і всмоктуються мінеральні речовини організму у внутрішнє середовище переважно у вигляді йонів. Їх всмоктування проходить в основному в тонкому кишечнику, частково – в шлунку і в товстому кишечнику. Йони, що всмоктались, надходять в кров та лімфу, а звідти – до клітин всього організму.

Проміжний обмін мінеральних елементів характеризується тим, що вони нагромаджуються (депонуються) у тканинах організму. Так, Кальцій, Магній, Фосфор нагромаджуються в кістковій тканині; Ферум – у печінці (у вигляді феритину) і кістковому мозку, де використовується для утворення еритроцитів; Йод депонується в щитоподібній залозі тощо. Багато мінеральних елементів входять до складу білків, або знаходяться з білками у зв'язаному стані.

Продукти обміну мінеральних речовин виділяються з сечею, потом, калом. Частина мінеральних речовин може виділятись з молоком. Через нирки (з сечею) виділяються Натрій, Калій (у вигляді хлоридів і сульфатів), Фосфор (у вигляді солей ортофосфорної кислоти), Хлор, Йод, Бор, Бром, Сульфур та деякі інші елементи. Через травний тракт з калом виводяться з організму Ферум, Купрум, Кальцій, Алюміній, Цинк, важкі метали. Частина мінеральних речовин, зокрема, у вигляді хлоридів, сульфатів, фосфатів виділяється з потом.

В період росту і при вагітності мінеральний баланс позитивний, при старінні, хворобах і голодуванні – негативний, за нормальних фізіологічних умов – мінеральна рівновага.

Нестача або надлишок мінеральних речовин в організмі тварин і людини є причиною порушень обміну речовин. Так, при нестачі Йоду виникає ендемічний зоб, Кобальту і купруму – анемія, Кальцію і Фосфору – рахіт, остеомаляція, остеопороз.

Регуляція водно-сольового обміну здійснюється шляхом нервових впливів на нирки і потові залози. Нервовий центр, який регулює водно-сольовий обмін, розташований в проміжному мозку. Тут є спеціальні осморецептори, чутливі до зміни осмотичного тиску в крові і в тканинній рідині. Подразнення цих рецепторів зумовлює рух води і солей в організмі, всмоктування їх з травного

тракту, перерозподіл між окремими тканинами та органами і виділення через нирки, потові залози, шлунково-кишковий тракт.

Важлива роль в регуляції водно-сольового обміну належить гормонам наднирників, паращитоподібної, щитоподібної і інших залоз внутрішньої секреції. Так, вазопресин задньої частки гіпофіза зменшує виділення води нирками, мінералокортикоїди кори наднирників забезпечують затримку Натрію в організмі, гормон паращитоподібної залози паратгормон регулює обмін Фосфору і Кальцію.

Окремі речовини, наприклад $CaCl_2$, сприяють виведенню води з організму; NaCl, навпаки, сприяє нагромадженню води в організмі.

Між мінеральними елементами може існувати синергізм і антагонізм.

Синергізм проявляється в тому, що наявність одних елементів активує дію інших мінеральних елементів. Прикладами синергістів можуть бути: Фосфор і Магній (при збільшенні відкладання в організмі Фосфору збільшується використання Магнію); Ферум і Купрум; Кобальт і Ферум.

Антагонізм проявляється в тому, що наявність одного елементу пригнічує активність іншого. Так, надлишок Фосфору викликає збідніння кісток на Кальцій, тобто Фосфор і Кальцій – антагоністи. Антагоністами є також Кальцій і Магній; Кальцій і Фосфор; Купрум і Цинк; Купрум і Манган; Кальцій і Цинк; Кальцій і Манган; Ферум і Манган.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Значення води в організмі людини і тварин.
2. Водний баланс та його види.
3. Стани води в організмі.
4. Класифікація мінеральних речовин. Назвіть основні мікроелементи, мікроелементи, ультрамікроелементи.
5. Значення мінеральних елементів для організму людини і тварин.

4.6. Обмін різних речовин як єдине ціле

Біохімічні перетворення різних речовин в організмі взаємопов’язані. Порушення обміну однієї групи речовин, як правило, веде за собою зміну

обміну інших речовин і організму в цілому. Реакції обміну речовин, що відбуваються в організмі, характеризуються високим ступенем узгодженості. Вони становлять впорядковану і цілісну систему, яка склалася в результаті тривалої еволюції живого світу, закріпилась генетично і передається по спадковості від покоління до покоління. Обмін речовин є закономірним порядком перетворень речовин і енергії в організмі, в його клітинах, тканинах, органах.

Взаємозв'язок і взаємозумовленість реакцій обміну речовин координуються центральною нервовою системою і залозами внутрішньої секреції, утворюючи струнку систему нейрогуморальної регуляції. Регуляція в клітині здійснюється за допомогою ферментів, гормонів, циклічного аденозинмонофосфату (цАМФ), медіаторів збудження, кінцевих і проміжних продуктів біохімічних реакцій. Кожна ферментативна реакція – це ланка відповідного метаболічного шляху, а всі метаболічні шляхи в сукупності складають обмін речовин. Біохімічні реакції взаємопов'язані і відбуваються в певному порядку і послідовності. Так, обмін нуклеїнових кислот, білків, ліпідів, вуглеводів на перших етапах відбувається різними шляхами, проте в результаті утворюються одні й ті самі кінцеві продукти – CO_2 і H_2O, а при окисненні нуклеїнових кислот і білків, крім того, азотисті сполуки: сечовина, сечова кислота тощо.

Обмін нуклеїнових кислот пов'язаний з іншими видами обміну речовин. Зокрема, інтенсивність біосинтезу залежить від наявності в клітині відповідної «сировини» та білків-ферментів: ДНК- і РНК-полімераз, полінуклеотидфосфорилази, синтетаз пуринових і піримідинових основ тощо. Під час розпаду пуринових основ утворюється гліоксилова кислота, з якої утворюється гліцин. Під час розпаду піримідинових основ виникає β-аланін – джерело утворення пантотенової кислоти і коензиму А. Гліцин і β-аланін можуть бути матеріалом для біосинтезу білків.

Існує зв'язок між обміном нуклеїнових кислот і вуглеводів. Так, D-рибоза і D-дезоксирибоза використовуються для біосинтезу нуклеозидів, нуклеотидів і нуклеїнових кислот. Біосинтез вуглеводів залежить від біосинтезу нуклеїнових

кислот. Так, частина уридинтрифосфорної кислоти (УТФ) використовується для утворення уридиндифосфоглюкози – основи для біосинтезу поліглюканів.

Бета-окиснення вищих жирних кислот дає клітині макроергічні сполуки, які є джерелами хімічної енергії для утворення багатьох речовин. Біосинтез деяких фосфоліпідів залежить від цитидинтрифосфорної кислоти (ЦТФ).

Вуглеводи є джерелом утворення жирів. Зв'язуючою ланкою переходу вуглеводів у жири і навпаки є ацетил-КоА. Гліцерин утворюється за рахунок відновлення 3-фосфогліцеринового альдегіду або фосфодіоксіацетону. Вищі жирні кислоти (ВЖК) синтезуються з ацетил-КоА. В подальшому з гліцерину і ВЖК синтезується молекула нейтрального жиру. Вуглеводи в організмі можуть синтезуватися з жирів. Цей процес має особливе значення для тварин, які впадають у зимову сплячку. Запаси жиру в них на момент сплячки досягають 50% загальної маси, дихальний коефіцієнт взимку низький – 0,4-0,6. Під впливом клітинних ліпаз жир гідролізується. Гліцерин окиснюється в гліцериновий альдегід, який фосфорилується і може бути джерелом утворення глюкози і глікогену. З вищих жирних кислот при β-окисненні утворюється ацетил-КоА, з нього – інші речовини. З глюкози утворюється глікоген.

Між вуглеводним і білковим обмінами існує взаємозв’язок через спільні метаболічні шляхи перетворення (рис. 4.9).

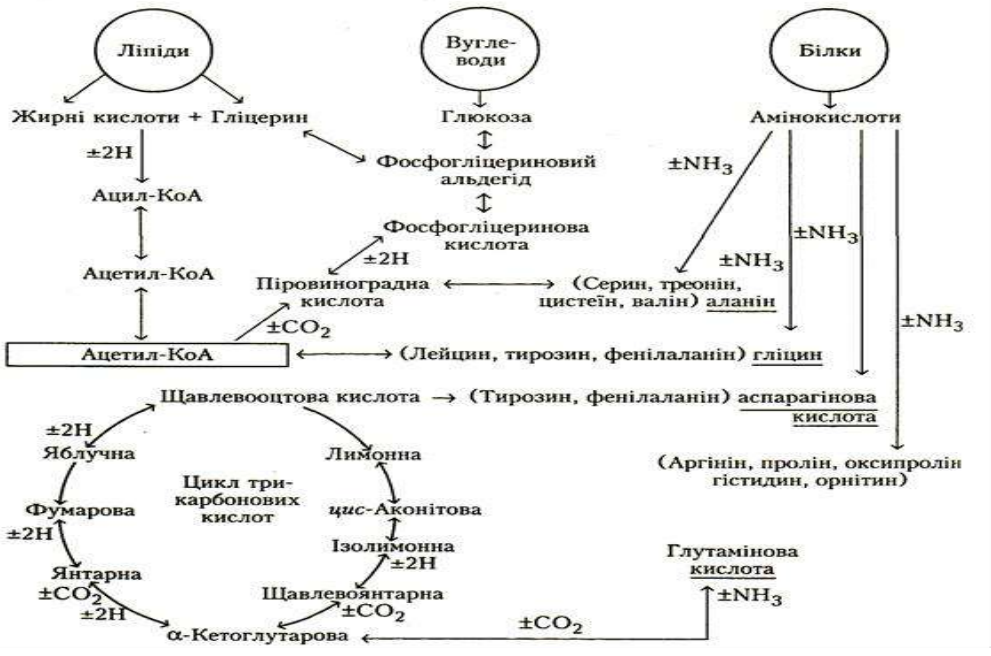


Рис. 4.9. Взаємозв'язок між обмінами різних речовин

В цьому випадку ключовим продуктом обміну є ацетил-КоА, з якого можуть утворитися аланін, фенілаланін, тирозин, триптофан, гістидин тощо. Крім того, з нього утворюється щавлево-оцтова кислота, яка дає аспарагінову. В процесі функціонування циклу трикарбонових кислот виникає ά-кетоглутарова кислота, яка дає глутамінову тощо. Процеси перетворення вуглеводів на білки і білків на вуглеводи регулюються глікокортикоїдами надниркових залоз.

Обмін різних речовин в організмі – єдине ціле. Залежно від потреб організму в клітинах і тканинах із загальних продуктів хімічних реакцій можуть синтезуватися необхідні для життєдіяльності речовини. Провідна роль у цих процесах належить ферментам. ДНК забезпечує передавання генетичної інформації і чітку специфічність в структурі біополімерів. При розщепленні вуглеводів і ліпідів, а іноді і білків поновлюються запаси АТФ та інших макроергічних сполук.

Отже, живий організм є саморегулюючою системою, основою існування якої є безперервний обмін речовин. Порушення реакцій обміну речовин та енергії призводить до патології.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Значення ацетил-КоА в обміні жирів, білків та вуглеводів.

2.Взаємозв'язок між обміном вуглеводів і ліпідів.

3. Взаємозв'язок між обміном білків і ліпідів.

ТЕМА 5. БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО Є В ОСНОВІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОКРЕМИХ ТКАНИН, ОРГАНІВ, СИСТЕМ ОРГАНІЗМУ, ТА ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ

5.1. Біохімія м'язової тканини

Загальна характеристика м'язової тканини. Рухова активність є основою усіх пристосувальних реакцій тварин і людини до змін зовнішнього середовища. Система органів і тканин, що виконують функцію руху, називають ***руховим апаратом***. Він складається з кісток скелету, з'єднаних між собою

суглобами і зв’язками, скелетних (поперечносмугастих) м’язів, прикріплених до кісток і мотонейронів – нервових клітин, що іннервують м'язові волокна.

До складу скелетних м’язів входить м’язова, нервова і сполучна (зв’язки, сухожилля) тканини. Зверху м’яз покритий зовнішньою сполучнотканинною оболонкою – ***епімізієм***. Він надає м’язу певної форми. Під епімізієм знаходяться пучки м’язових волокон, покриті іншою сполучнотканинною оболонкою – ***перимізієм***. М’язові волокна -багатоядерні циліндричної форми видовжені поперечносмугасті клітини (рис. 5.1).

Кожне м’язове волокно має велику кількість (1 тис і більше) м’язових ниток – міофібрил.

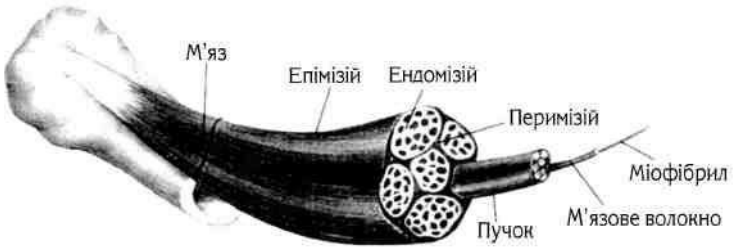


Рис. 5.1

Будова скелетного м’яза

Товщина окремих м’язових волокон — 10–100 мкм, довжина – від 1-2 до 10-12 см.

М’язове волокно покрите тонкою еластичною мембраною – ***сарколемою*** (від грецького слова «саркос» – м’ясо), яка з’єднується із сполучною тканиною м’яза. Сарколема відіграє важливу роль у виникненні і проведенні збудження. Всередині м’язового волокна знаходиться ***саркоплазма***. До її складу входить саркоплазматичний матрикс і ретикулум – сітка (рис. 5.2).

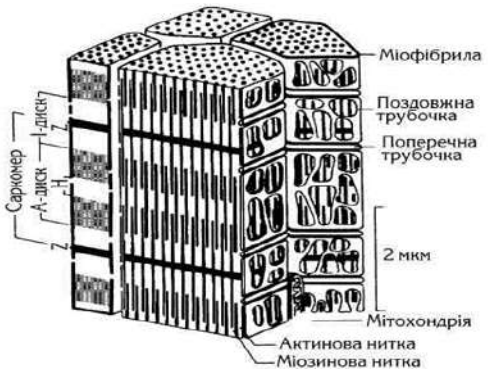


Рис. 5.2. Поперечні трубочки і саркоплазматичний ретикулум м’язового волокна

Саркоплазматичний матрикс – це рідина, в яку занурені скоротливі елементи м’язового волокна – міофібрили. Крім міофібрил до складу матрикса

входять гранули глікогену, крапельки жиру, фосфатні речовини та інші малі молекули і йони, розчинні білки (16,5–21,0 %). Розрізняють ***саркоплазматичні*** (міоген, глобулін, білок-пігмент, міоглобін, міоальбумін, різні ферменти, нуклеопротеїди ядер багаті ДНК) і ***міофібрилярні*** (міозин, актин, актомізин, тропонін, тропоміозин, контрактин та ін.) білки. Тропонін і тропоміозин входять до складу актинових протофібрил. Тропонін-тропоміозинова система під час відсутності йонів Ca^{2+} в стані спокою гальмує змикання поперечних містків з актиновими нитками і блокує АТФ-азну активність міозинових головок.

З білків саркоплазми особливу роль виконує ***міоглобін***. З'єднуючись з киснем крові, цей білок забезпечує депонування 15% кисню. Кисень, зв'язаний з міоглобіном, використовується лише в екстремальних ситуаціях, зокрема при виконанні напруженої м'язової роботи. Багато міоглобіну в м'язах дельфіна, тюленя (15-30 % від сухого залишку м'язової тканини), а також у людей, професія яких вимагає тривалої затримки дихання (збирачі перлин, спортсмени підводного плавання тощо).

При з'єднанні міофібрилярного білку міозину з актином утворюється скоротливий білок ***актоміозин***. Міозин і актоміозин є ферментами АТФ. Ферментативна дія міозину на АТФ активується йонами Ca^{2+}.

В кожному м'язовому волокні знаходиться до 1000 і більше міофібрил. Це спеціалізовані скоротливі структури діаметром 1-3 мкм. До складу міофібрил входять товсті міозинові і тонкі актинові філаменти (рис. 5.3).

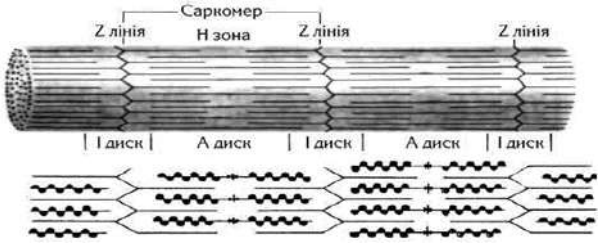


Рис. 5.3. Схема ділянки волокна скелетного м'язу (за Щагатієвою)

Міозинові філаменти утворені великою кількістю (близько 200) молекул міозину, які вбудовані бік в бік кінцями одна до одної. Кожна молекула міозину складається з двох сплетених білкових пучків (рис. 5.4 а, б). Один кінець

кожного пучка утворює глобулярну (міозинову) головку. Висуваючись вперед, головка міозинового філаменту утворює поперечні містки, які взаємодіють в час м'язового скорочення з спеціальними активними ділянками на актинових філаментах.

Кожний актиновий філамент складається з трьох різних протеїнових молекул: актину, тропоміозину і тропоніну. Актин є основою філамента. Окремі глобулярні актинові молекули, з'єднуючись, утворюють нитки актинових молекул; білок тропоміозин має форму трубочки, яка звивається навколо актинових ниток. Більш складний білок тропонін через рівні проміжки прикріплений до ниток актину і до тропоміозину (рис. 5.4).

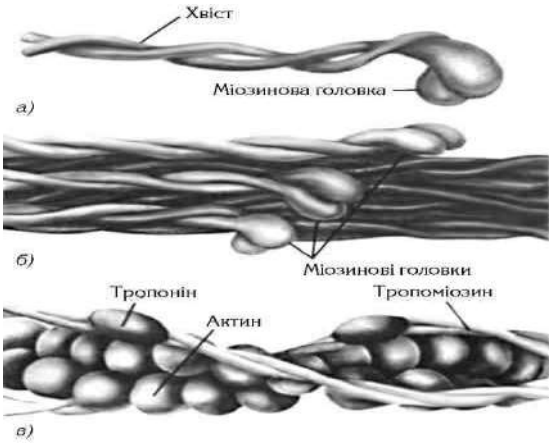


Рис. 5.4. Молекула міозину – а; міозиновий філамент – б; актиновий філамент, який складається з молекул актина, тропоміозина і тропоніна – в (за Д. Уілмором і Д. Костіллом, 1997)

Просторове розташування міофіламентів визначає посмугованість скелетних м'язів, яку добре видно під мікроскопом. Тонкі Z-мембрани (телофрагма-Т), до яких прикріпляються тонкі філаменти, ділять міофібрили на саркомери. ***Саркомер*** – це основна структурно-функціональна скоротлива одиниця міофібрили. В саркомерах актинові філаменти розташовані між міозиновими, які мають довгі «хвости» і «головки». Головки міозинових молекул повернуті в косому напрямі до актинових ниток і мають назву поперечних містків.

Поперечна посмугованість міофібрил є наслідком чергування ділянок саркомера з сильним і слабким заломленням променів. В тій частині саркомера, де розміщені тільки тонкі нитки (диск-І), заломлення променів невелике. В місцях перекриття товстих і тонких ниток (диск-А) заломлення променів

подвійне, а тому вони виглядають темними. Всередині диска-А тонких ниток немає – це Н-зона, вона світла. Посередині А-диска поперек проходить мембрана – ізофрагма (М), вона взаємозв'язана з телофрагмою (Z-лінією) і з сарколемою.

Міофібрили згруповані в пучки (колонки) по 4-10 штук в кожному. Колонки тісно зв'язані з транспортною системою м'язового волокна (саркоплазматичною сіткою), по якій циркулюють поживні речовини і розповсюджується електрична хвиля збудження.

Саркоплазматична сітка (ретикулум) складається з поперечних (Т-трубочок) і поздовжніх трубочок, розташованих між міофібрилами паралельно до них (рис. 5.2). В розширених кінцях поздовжніх трубочок (міхурах) зосереджені йони Ca^{2+}. Саме йонам Кальцію належить ключова роль в механізмі м'язового скорочення. Важливими функціями саркоплазматичної сітки є передача потенціалу м'язового волокна з поверхні мембрани до цистерн та виділення продуктів обміну (молочної кислоти, вуглекислого газу тощо) з м'язової тканини в міжклітинні простори.

В м'язовій клітині по ходу міофібрил знаходяться *мітохондрії* (саркосоми). Їх кількість зумовлює функціональну активність м'язів. До складу мітохондрій входять білки, жири, вуглеводи, нуклеїнові кислоти, а також велика кількість ферментів, які беруть безпосередню участь у процесах ресинтезу АТФ. Найбільше мітохондрій в постійно працюючому серцевому м'язі.

Непосмугована м'язова тканина. Гладенькі м'язи утворюють стінки внутрішніх органів (органів травної системи, бронхів, кровоносних і лімфатичних судин, сечового міхура, матки тощо), шкіри і залоз. На відміну від посмугованої м'язової тканини міофібрили гладеньких м'язів не мають посмугованості. До їх складу входить білок *тономіозин* (різновидність актоміозину), а також ***леатонін***, функцією якого є підтримання тривалого тонічного напруження. Цьому сприяє хаотичне розташування скоротливих білків у волокнах гладеньких м'язів. Довжина клітин гладеньких м'язів

залежить від органу, до складу якого вони входять (20-500 мкм), діаметр – 5-20 мкм.

Гладенькі м’язи менш збудливі, ніж поперечносмугасті, вони мають більш тривалий рефрактерний період і невелику швидкість поширення нервового імпульсу (2-15 см/с). Збудження по непосмугованих м’язах може вільно передаватися з одного волокна на інше. Ці та інші морфофізіологічні особливості гладеньких м’язів зумовлюють ряд відмінних ознак їх функціонування.

Хімічний склад скелетних м’язів. Вагомий внесок у вивчення біохімії м’язової тканини зробили вчені української біохімічної школи – О.В.Палладін, Д.Я.Фердман, С.О Костерин і особливо М.Д.Курський.

Хімічний склад м’язів вивчається не в окремо взятих її мікроскопічних елементах, а в загальній масі. Для повного уявлення про складові частини м’язових волокон враховують вміст в м’язі білків сполучної тканини.

В скелетних м’язах теплокровних тварин міститься 75-80% води і 20-25% сухого залишку. В м’язах холоднокровних тварин води дещо більше – 80-82%.

В працюючому до втоми м’язі вміст води зростає до 80-83%. Причиною цього є значне утруднення відтоку води від напруженого м’яза.

Вміст води в м’язах, як і в організмі в цілому, залежить від віку тварини (людини). Чим молодший організм, тим більше в його м’язах води. Близько 22% сухого залишку м’язів складають білки. Крім них, є азотисті небілкові речовини, неорганічні солі.

Білки м’язової тканини поділяють на три групи: *білки саркоплазми, білки міофібрил, білки м’язової строми.* До білків саркоплазми належать: *міоген, міоглобін, глобулін Х, міоальбумін.*

Міоген є гетерогенною фракцією білків м’язів. Цей простий, глобулярний білок становить у середньому близько 30% їх загальної маси. Складається з міогену А і міогену В. *Міоген А* володіє ферментативною активністю альдолази (розщеплює 1,6-дифосфат до фосфодіоксіацетону і 3-фосфогліцеринового альдегіду). *Міоген В* ферментативно неактивний.

Міоглобін – хромопротеїд, основна роль якого – фіксування кисню в м’язах.

У тварин, життя яких тісно пов’язане з водою, до 47% кисню зв’язується у формі оксиміоглобіну. У людини і наземних хребетних з міоглобіном зв’язується близько 14% усього кисню. Молекула міоглобіну складається з одного поліпептидного ланцюга, що містить 153 залишки амінокислот (рис.5.5). Молекулярна маса білка – 17000. Активною частиною молекули міоглобіну є гем.

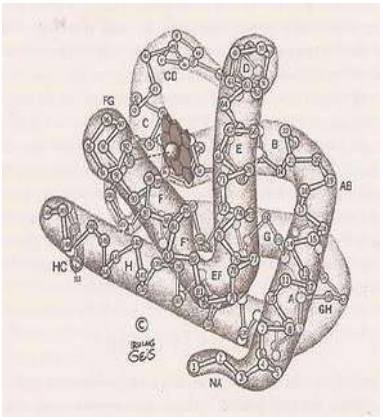


Рис. 5.5. Будова міоглобіну

Глобулін Х – гетерогенний білок, що залишається в м’язовій тканині після виділення міогенової фракції. За хімічними властивостями він подібний до глобулінів. Нерозчинний у воді, розчиняється в розчинах солей NaCl, KCl. Володіє ферментативною активністю. Становить у середньому 20% загальної кількості білків тканини.

Міоальбумін. За хімічними властивостями цей білок м'язів подібний до альбумінів крові. Його багато в м’язах ембріонів і в гладеньких м’язах.

До *білків міофібрил* належать *міозин, актин, актоміозин, тропоміозин.*

Міозин становить 40% від сухої маси м’язів. За хімічною природою – глобулін. Молекули міозину складаються з двох поліпептидних ланцюгів, скручених у спіраль. Молекулярна маса міозину м’язів близько 500 тис. Молекула міозину складається з 5000 залишків 18 амінокислот. Міозин погано розчиняється у воді. При з’єднанні з актином утворює актоміозин – основний білок скоротливої системи м’язів. Виявляє АТФ-азну активність

(В.О.Енгельгардт та М.Н.Любимова, 1939), що дає можливість перетворювати енергію АТФ на механічну роботу м'язового скорочення. Ензиматична активність міозину посилюється в присутності йонів Ca^{2+}, а йони Mg^{2+}, навпаки, гальмують її. Міозин має також властивості АМФ-аміногідролази.

Розчин міозину дуже в'язкий. Міозин відрізняється від інших білків своєю нестійкістю, навіть при оптимальних умовах; при зберіганні він поступово змінюється і втрачає свої вихідні властивості. Особливо чутливий міозин до слідів металів. При повільній денатурації молекули агрегують (злипаються) і розчинність міозину знижується.

Актин. Виділений з м'язів у 1942 році угорським дослідником Ф.Б. Штраубом. Становить близько 14% загальної кількості білків м'язів. Є глобулярним білком. Актин може бути у вигляді мономеру (М=70000), а також у вигляді димеру (М=140000). Відповідно до цього є дві форми актину: глобулярна (Г-А) і фібрилярна (Ф-А), які переходять одна в одну. Перетворення глобулярної форми актину на фібрилярну зумовлюється поєднанням окремих глобул у ланцюг. Розчини Г-А рухомі і володіють незначною в'язкістю, розчини ж Ф-А мають велику в'язкість. Актин знаходиться в усіх клітинах еукаріотів і становить близько 15% усіх білків. Він забезпечує також формування цитоскелету клітин.

Актоміозин – комплекс, який, утворюється з білків актину і міозину. Цей основний скоротливий білок м'язової тканини поєднує в собі фізико-хімічні та ферментативні властивості обох білків. Молекулярна маса – близько 5000000. Актоміозин володіє властивостями АТФ-ази. Головною особливістю білка є його здатність стискатися під впливом АТФ і за наявності йонів K^+ і Mg^{2+}. При цьому витісняється вода, зменшується частинка білка, після чого він розпадається на актин і міозин. Актоміозин знаходиться в усіх м'язових волокнах людини та тварин, забезпечуючи процеси скорочення м'язів та рух органел клітин.

Реакція взаємодії актоміозину з АТФ є основою механізму скорочення м'язів.

Виділяють актоміозин шляхом висолювання його з гомогенатів поперечно-посмугованих м’язів розчинами нейтральних солей, наприклад 0,6М розчином KCl.

Тропоміозин має молекулярну масу 50000 і становить 4-11% загальної кількості білків м’язів. Існує в двох формах – водорозчинній і водонерозчинній. Багато тропоміозину в гладеньких м’язах. За властивостями подібний до міозину. До складу тропоміозину входять 18 амінокислот, особливо багато лізину, аланіну, глутамінової кислоти.

Білки м’язової строми – це білки, які залишаються в м’язовій тканині після екстракції білків саркоплазми та міофібрил сольовими розчинами. Становлять 15-20% загальної кількості білків м’язів. До їх складу входять *структурні* (колаген, еластин, нейрокератин) і *ферментні* (АТФ-аза, АМФ-аміногідролаза) *білки.*

До складу м’язів входять також *ліпіди*. В основному це нейтральні жири, стерини і стериди, гліколіпіди, фосфатиди. М’язи містять в середньому близько 1% ліпідів, але в їх розподілі, а також у співвідношенні окремих ліпідів в різних м’язах є характерна різниця. Загальний вміст стеринів і стеридів коливається в межах 0,03-0,23%, фосфатидів – 0,4-1%. Вміст тригліцеридів у міжм'язовій сполучній тканині коливається в широких діапазонах.

Нейтральні жири м’язів є резервними жирами, які розташовуються між окремими м’язовими волокнами в сполучній тканині; їх присутність не є обов’язковою. Навпаки, холестерин і фосфатиди – необхідні складові частини всіх м’язів.

Серцевий м’яз містить приблизно в два рази більше холестерину і фосфатидів, ніж скелетна мускулатура; в гладеньких м’язах багато холестерину і мало фосфоліпідів.

Між вмістом ліпідів і працездатністю м’яза спостерігається певний паралелізм: м’язи, які постійно працюють з великим навантаженням, містять більше холестерину і фосфоліпідів (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1

Особливості співвідношень фосфатидів і холестерину в різних видах м’язів (% від загальної маси)

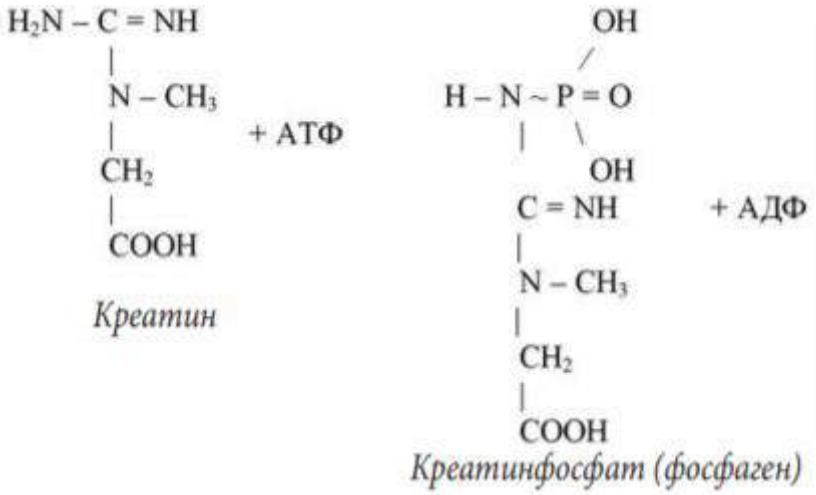
Вид м’язів	Фосфатиди	Холестерин
Скелетний м’яз	0,85	0,06
Серцевий м’яз	1,50	0,12
Гладкий м’яз	0,75	0,21

При голодуванні в першу чергу використовуються резервні жири. Нейтральні жири, холестерин і фосфоліпіди залишаються в складі м’язової тканини. Згодом, при тривалому голодуванні, на енергетичні цілі використовуються не лише жири, а й білки м'язів.

Екстрактивні речовини м’язової тканини. Це органічні і мінеральні сполуки, які добре екстрагуються водою з подрібненої м’язової тканини. Органічні сполуки поділяють на азотисті й безазотисті.

Азотисті екстрактивні речовини становлять близько 1% загальної маси м’язів. Вміст небілкового азоту в складі м’язової тканини досягає 0,3-0,9%. До них належать різні вільні амінокислоти, аденозинфосфати (АТФ, АДФ, УДФ, ГТФ), креатин, креатинфосфорна кислота (фосфаген), креатинін, карнозин, карнітин, ансерин, амоніак, пуринові та піримідинові сполуки, поліпептиди. Більшість цих речовин перебуває у фосфорильованому стані, становлячи кислоторозчинну і кислотонерозчинну фракції.

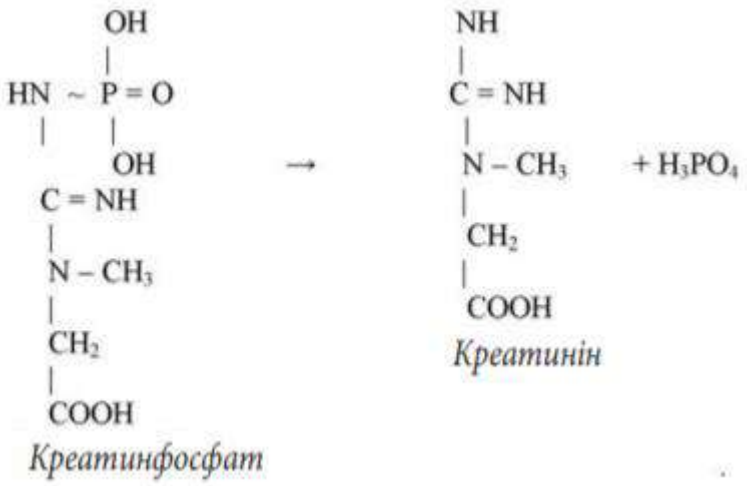
Найбільше значення в енергозабезпеченні м’язової діяльності має відкритий в 1835 році *креатин***.** Ця сполука синтезується в нирках з трьох амінокислот: гліцину, аргініну, метіоніну. Креатин з кровю надходить у м’язову тканину, тут під впливом ферменту креатинкінази він фосфорилується і перетворюється на креатинфосфат (КрФ, фосфаген):



Понад 50% креатину перебуває у вигляді креатинфосфату, який міститься у скелетних м'язах, серці, мозку, нервовій тканині і бере участь в енергетичному обміні. Скелетні м'язи, на відміну від інших органів, здатні утримувати значні кількості креатину.

Біологічна роль креатинфосфату полягає у підтриманні в тканинах сталого вмісту АТФ. Вміст креатинфосфату у м'язах в стані спокою у 5-8 разів більший, ніж АТФ, що повністю забезпечує сталий рівень АТФ в період фізичного навантаження. При відсутності м'язових скорочень, під час гліколізу та окисного фосфорилування, поповнюються запаси АТФ і посилюються процеси утворення креатинфосфату.

Кінцевим продуктом обміну креатинфосфату є *креатинин*, який утворюється при спонтанному неферментативному гідролізі креатинфосфату і виділяється із сечею:



Виділення креатинину значно зменшується при діабеті, м'язовій дистрофії, гіпертиреозі, порушенні функцій нирок. В м'язовій тканині, як і в плазмі крові, креатинину мало.

Ансерин – природній дипептид, утворюється з амінокислот 1-метилгістидину і β-аланіну, під час метилування карнозину. Ансерин міститься в м'язах більшості хребетних тварин, в інших тканинах організму він практично відсутній. Його не виявлено в рослинах і нижчих безхребетних.

Біологічна роль ансерину пов'язана з фізіологічною функцією м'язів – забезпеченням скоротливості м'язових волокон. М'язи, що несуть значне функціональне навантаження, відзначаються високим вмістом ансерину.

Вважають, що ансерин впливає на фосфорилуюче окиснення та синтез макроергічних сполук на мембранах мітохондрій, посилює процеси вуглеводного обміну, забезпечує нормальне функціонування клітинних структур та м'язових волокон.

Карнітин (від латинського carnis – м'ясо). Належить до вітаміноподібних сполук. Його ще називають вітаміном B_T. Молекулярна маса карнітину – 161200. Завжди присутній у тканинах рослинних і тваринних організмів, а також в клітинах бактерій та мікроорганізмів. Значна кількість карнітину міститься у м'язовій тканині. Для деяких видів тварин карнітин є необхідним фактором росту, оскільки він не синтезується в їх організмі. В організмі людини карнітин може частково синтезуватися з лізину.

Біологічна роль карнітину полягає в його участі у багатьох обмінних реакціях організму. Наприклад, він стимулює процеси β-окиснення жирних кислот – є кофактором, який забезпечує транспорт залишків жирних кислот крізь мембрани з цитоплазми в мітохондрії. У медицині використовується у вигляді карнітинхлориду, який володіє виразною анаболічною дією.

Карнозин – природний дипептид, що утворюється з амінокислот гістидину і β-аланіну. Цей імідазолвмісний дипептид входить до складу азотистих сполук, добре розчинний у воді і нерозчинний в етанолі. Значний вміст карнозину виявлено в скелетних м'язах – 150-1000 мг на 100 г тканини. Бере участь в обміні речовин у скелетних м'язах, посилює частоту та силу м'язових

скорочень шляхом підвищення ефективності роботи йонних насосів м’язової тканини.

Карнозин є попередником ансерину, він прискорює загоювання ран і використовується для лікування катаракти. У м’язах ссавців (у розрахунку на сиру масу) міститься 0,2-0,3% карнозину, 0,09-0,15% ансерину і 0,02-0,5% карнітину.

Серед амінокислот в м’язовій тканині багато глутаміну і глутамінової кислоти та їхніх амідів (близько 75% усіх амінокислот та їхніх амідів). Зв’язаний амоніак у вигляді глутаміну використовується тканиною для амінування пуринових і піримідинових основ, карбонових кислот, а його надлишок з кров’ю надходить у печінку, де з нього синтезується сечовина.

У незначних кількостях в м’язах містяться сечова кислота, аденін, гуанін і продукти їх дезамінування – гіпоксантин і ксантин.

До безазотистих екстрактивних речовин м’язів належать глікоген (3-4%) та продукти анаеробного та аеробного обміну вуглеводів: молочна кислота; гексозофосфати (глюкозо-1-фосфат, глюкозо-6-фосфат, фруктозо-1-фосфат та інші); тріозофосфати (фосфодіоксіацетон, 3-фосфогліцериновий альдегід); глюкоза; янтарна кислота; вітамін С; інозит тощо.

Вміст глікогену в скелетних м’язах коливається в значних межах (від 0,2 до 2% і вище) і залежить від кількості вуглеводів в їжі. Глікоген легко використовується в м’язах при їх роботі. Вже навіть при роботі м’язів тривалістю 0,5-1 хв кількість глікогену в них різко знижується.

Мінеральні речовини м’язової тканини. При спалюванні м’яза залишається зола (1-1,5% загальної маси), яка складається з мінеральних речовин. М’язова тканина багата на йони K^+, Na^+; містить йони Co^{2+}, B^{3+}, Hg^{2+}, Cl^-, вільний та зв’язаний Фосфор. Йони Ca^{2+} і Mg^{2+} переважно сконцентровані всередині м’язових волокон. Йони Fe^{3+} входять до складу міоглобіну.

Зміни хімічного складу м’язової тканини в онтогенезі. Ембріональна м’язова тканина за своїм хімічним складом значно відрізняється від скелетної мускулатури дорослих особин. В м'язах ембріонів міститься більше води, ніж у функціонально зрілій мускулатурі. Відповідно загальний віст білка в м’язовій

тканині ембріонів, в перерахунку на сиру тканину, є більш низьким, ніж в м'язах тварин того ж виду у постнатальному періоді. В порівнянні з м'язами дорослого організму, у функціонально незрілому м'язі нижчий вміст міофібрилярних білків (міозину і актоміозину) і більш високий – білків строми, міоальбуміну, а також глобуліну Х. По мірі розвитку плоду кількість міофібрилярних білків зростає, одночасно зростає і АТФ-азна активність в м'язових екстрактах.

Ембріональна м'язова тканина характеризується високим вмістом нуклеопротеїдів, а також РНК і ДНК. З розвитком ембріону кількість нуклеопротеїдів і нуклеїнових кислот в м'язах швидко зменшується. У функціонально незрілому м'язі значно менше, ніж в м'язах зрілих особин макроергічних сполук (АТФ і креатинфосфату).

В чітко визначеному періоді онтогенезу в м'язовій тканині з'являються імідазолвмісні дипептиди (ансерин і карнозин). Час появи цих дипептидів тісно пов'язаний з м'язовою функцією і співпадає з формуванням рефлекторних дуг, які забезпечують можливість проявів рухових рефлексів, появу Ca^{2+} – чутливості актоміозину і початок роботи йонних помп.

Для ембріонального періоду розвитку м'язової тканини характерні певні особливості у ферментних та ізоферментних спектрах м'язової тканини. Специфічно змінюється ізоферментний спектр лактатдегідрогенази. В екстрактах із скелетних мязів 3-5-місячного ембріону на долю ізоферментів $ЛДГ_3$ і $ЛДГ_2$ приходиться відповідно 40% і 31% від загальної активності лактатдегідрогенази. В процесі ембріонального розвитку в скелетній мускулатурі проходить поступове зростання активності катодних і зниження активності анодних ізоферментів ЛДГ; у дорослих особин в скелетній мускулатурі найбільшою активністю володіють уже ізоферменти $ЛДГ_5$ і $ЛДГ_4$.

З розвитком плода змінюється також ізоферментний спектр гексокінази в м'язовій тканині; підвищується активність ізоферменту ГК-І і знижується активність ізоферменту ГК-ІІ. Вище наведені дані про зміни хімічного складу м'язової тканини в онтогенезі майже виключно відносяться до скелетної мускулатури.

Особливості хімічного складу серцевого і гладеньких м'язів. Серцевий м'яз багатий на воду (78-79%). Щільний залишок, який складає 21-22% маси серця, на 80% складається з білків. За своїми властивостями білки серцевого м'яза мало відрізняються від білків скелетних м'язів. Відмінності пов'язані перш за все з кількісним складом окремих білків і білкових фракцій. В серцевому м'язі менше, ніж в скелетних м'язах креатину (приблизно в два рази) і аденозинтрифосфорної кислоти, проте більше глутаміну і глутамінової кислоти. Вміст глікогену в серцевому м'язі близько 0,5% і майже не змінюється в процесі виконання фізичних вправ. В скелетних м'язах при виконанні напруженої фізичної роботи концентрація цього енергосубстрату може зменшуватися в 2-3 рази.

Порівняно багатий серцевий м'яз на фосфатиди, при окисненні яких виробляється значна кількість енергії, необхідної для скорочення міокарду (таблиця 5.2)

Гладенькі м'язи містять близько 75% води. Основою їх сухого залишку є білки з великим вмістом актоміозину, креатину, АТФ. Серед білків гладеньких м'язів знайдені сліди ансерину і карнозину; вони бідніші на фосфатиди, багатші на холестерин, тропоміозин та білки строми.

Таблиця 5.2

Вміст фосфоліпідів (в % до сухої маси тканини) в різних видах м'язів

Тип мускулатури	Рівень фосфоліпідів
Скелетна	0,85
Серцева	1,50
Гладенька	0,75

Обмін речовин у м'язовій тканині. М'язова тканина характеризується високим ступенем метаболізму. Обмін речовин м'язу в стані спокою знаходиться на відносно низькому рівні; при роботі він може зростати більше

ніж в 100 разів. За таких умов необхідна мобілізація великих обсягів енергії. Джерелом енергії є реакції анаеробного глікогенолізу і циклу трикарбонових кислот. При виконанні роботи великої потужності в тканині різко зростає вміст молочної кислоти, зменшується вміст глікогену, макроергічних сполук тощо. При цьому накопичується багато продуктів обміну, деякі з них – шкідливі для організму.

Хімічні процеси в працюючому ізольованому м'язі. На початку XIX століття Й. Берцеліус припустив, що при роботі м'яза утворюється молочна кислота. Це припущення знайшло своє підтвердження в дослідженнях Ю. Лібіха, який встановив наявність молочної кислоти в автолізованих м'язах (м'ясі).

Вивчаючи хімічний склад м'язів, У.Флетчер і Ф.Гопкінс (1907) вперше використали метод їх сильного охолодження. Ними було показано, що вміст молочної кислоти в м'язах в стані спокою дуже незначний і що вона утворюється при роботі. Була також встановлена пряма залежність між інтенсивністю утворення молочної кислоти і величиною виконаної м'язом роботи. При втомі м'яза в ньому виявляли велику кількість молочної кислоти. Було показано, що втомлений м'яз в присутності кисню поступово відновлює свою працездатність, причому паралельно з ним в ньому зменшується вміст молочної кислоти.

О. Мейєргоф встановив, що в м'язі, який активно скорочується, молочна кислота виробляється в процесі розпаду глікогену. При розщепленні глікогену, який знаходиться в 1 г м'яза, до молочної кислоти вивільнюється 1-2 ккал енергії, яка може бути використана для виконання роботи. У всьому організмі за таких умов може накопичитися близько 100 г молочної кислоти.

Тривалий час вченим був відомий тільки один процес енергозабезпечення м'язової роботи, який не потребував кисню – розпад глікогену з утворенням молочної кислоти. Близько 20% утвореної при роботі в анаеробних умовах молочної кислоти аеробно окиснюється з утворенням вуглекислого газу і води. Відновлена при цьому енергія використовується для зворотного ресинтезу використаного глікогену із другої частини (80%) молочної кислоти. Вуглеводи вважались єдиним джерелом енергії, які забезпечують роботу м'язів.

В 1927 році у зв'язку з відкриттям в м'язах хребетних тварин креатинфосфорної кислоти, утворення молочної кислоти при роботі м'язів в анаеробних умовах не могло вже вважатися єдиним джерелом енергії. Виявилось, що при роботі м'язів в них зменшується кількість креатинфосфорної кислоти і зростає вміст креатину і фосфорної кислоти. Розпад креатинфосфорної кислоти завжди супроводжувався вивільненням енергії.

В 1930 році була встановлена можливість роботи м'язів без утворення молочної кислоти. Досліджено, що при повному гальмуванні (інгібуванні) гліколізу монойодоцтовою кислотою молочна кислота не утворюється взагалі, але скорочення м'язів продовжується. При цьому спостерігається енергетичний розпад креатинфосфату.

Таким чином, вчені прийшли до висновку про те, що робота м'язів можлива не лише в анаеробних умовах, а й при використанні креатинфосфату, ресинтез (відновлення) якого здійснюється за рахунок реакцій гліколізу.

В подальшому детальне вивчення м'язів, яке проводив вчений Г. Ембден, показало, що головним джерелом енергії м'язової діяльності є реакція розщеплення АТФ.

Обмін речовин в м'язах при роботі організму. В організмі робота м'язів викликана імпульсами, які йдуть до них по руховим нервам від центральної нервової системи. Посилена робота м'язів викликає їх втому і накопичення молочної кислоти та продуктів розпаду АТФ та КрФ. Молочна кислота і амоніак легко дифундують із м'язів в кров, і вміст їх в крові при посиленій роботі значно зростає. Одночасно з цим з кров'ю до м'язів доставляються поживні речовини (глюкоза, ацетооцтова кислота тощо), які використовуються ними. Тому робота м'язів в цілісному організмі, яка відбувається за сприятливих умов, більш тривала та ефективна, ніж робота ізольованого м'язу.

При правильному поєднанні періодів роботи та відпочинку м'язи можуть працювати тривалий час без накопичення в них молочної кислоти, продуктів розпаду АТФ та КрФ, а також без ознак втоми. Тільки в тих випадках, коли розпад енергетично важливих речовин в м'язових волокнах в період

скорочення проходить більш інтенсивно, ніж їх синтез в період розслаблення, в м’язах накопичується молочна кислота, амоніак, креатин і фосфорна кислота. За таких умов м’язи поступово втомлюються, і для відновлення їх працездатності необхідний тривалий проміжок відпочинку.

На початковій стадії роботи м’язів спостерігається інтенсивне використання накопичених в них запасів АТФ, КрФ та глікогену. Ця стадія роботи характеризується переважанням в м’язах процесів, які не потребують участі кисню, і проходять в анаеробних умовах. При продовженні роботи на перший план виступають аеробні процеси, які супроводжуються використанням поживних речовин, які надійшли до м’язів з кров’ю.

Біохімічні зміни в м’язах при патології. Ураження рухових нервів, рухова бездіяльність, перерізування сухожиль викликають атрофію м’язів із зменшенням їх маси та якісними змінами м’язової тканини. В м’язах зростає вміст сполучної тканини і зменшується кількість білків, які входять до складу м’язових волокон. З розвитком атрофії, внаслідок змін хімічного складу м’язів і порушень процесів обміну речовин в них працездатність м’язів знижується.

Подібні зміни в м’язах спостерігаються при пораненнях рухових нервів, а також при деяких порушеннях функцій нервової системи. До важких м’язових захворювань відноситься також прогресивна м’язова дистрофія та ряд інших функціональних розладів м’язів. Вивчення біохімічних змін в м’язах, які наступають при атрофії і дистрофії, показало, що порушення фізіологічної функції м’язів супроводжується глибокими змінами в обміні вуглеводів, фосфорних сполук та азотистих речовин, включаючи білки. При захворюваннях м’язів в них зменшується вміст глікогену, знижується активність гліколітичних ферментів. М’язи втрачають здатність нормально використовувати поживні речовини, порушується їх трофіка (звідси назви «атрофія» і «дистрофія»).

Загальним для більшості захворювань м'язів (прогресуючі м'язові дистрофії, атрофія м'язів в результаті їх денервації, тенотомія, поліміозит, деякі авітамінози тощо) є різке зниження в м'язах вмісту міофібрилярних білків, зростання концентрації білків строми та деяких саркоплазматичних білків, в тому числі міоальбуміну. Поряд із змінами фракційного складу м’язових білків

при ураженнях м'язів спостерігається зниження концентрації АТФ і креатинфосфату. Наприклад, через 12 днів після денервації литкового м'язу кролика вміст АТФ в ньому знижується більше ніж в два рази.

При прогресуючих м’язових дистрофія та інших хворобах, пов’язаних з розпадом м’язової тканини, часто спостерігаються зміни фосфоліпідного складу м'язів: значно знижується кількість фосфатидилхоліну і фосфатидилетаноламіну, концентрація ж сфінгомієліну підвищується.

Для багатьох форм патології м’язової тканини характерне порушення метаболізму креатину та його посилене виділення з сечею (креатинурія). Вважається, що креатинурія у хворих на міопатію є наслідком порушення в скелетній мускулатурі процесів фіксації (утримання) креатину та його фосфорилування.

Якщо порушується процес синтезу креатинфосфату, то не утворюється і креатинін; вміст останнього в сечі різко знижується. В результаті креатинурії і порушення синтезу креатиніну різко зростає креатиновий показник сечі.

При патології м’язової тканини можна спостерігати певну закономірність у змінах активності ферментів в м'язах: зменшується активність ферментів, які локалізовані в саркоплазмі; змінюється активність ферментів, які пов’язані з мітохондріями; помітно зростає активність лізосомальних ферментів.

Особливості обміну речовин в серцевому м’язі. Серцевий м’яз функціонує безперервно, в той час як для скелетних м’язів характерним є чергування роботи і відпочинку. Уже незначні зміни ритму роботи серця призводять до порушення кровообігу, що викликає істотні зміни забезпечення організму киснем і поживними речовинами.

Для серцевого м’яза характерний аеробний шлях розщеплення вуглеводів. Високий вміст в серцевому м’язі міоглобіну забезпечує певний запас кисню, який використовується у випадку підвищення потреби в ньому, зокрема при посиленні роботи серця. Окисні процеси відбуваються у мітохондріях м’язових волокон. Частину енергії, у вигляді АТФ серцевий м’яз отримує внаслідок окиснення жирних кислот і гідрооксикислот, а також реакцій пентозного шляху.

Переважання в серцевому м’язі аеробних процесів енергозабезпечення над анаеробними призводить до того, що при розпаді глікогену в ньому накопичується значна кількість молочної кислоти. Крім того, в серці інтенсивно окиснюється молочна кислота, яка доставляється кров’ю по системі коронарних судин. При посиленій роботі скелетних м’язів утворена в них молочна кислота частково поступає в кров. В печінці вона перетворюється в глікоген, а в серцевому м’язі – піддається аеробному окисненню.

При інтенсивній м’язовій роботі посилюється доставка до серцевого м’язу молочної кислоти, яка утворюються в скелетних м’язах, отже, створюються сприятливі умови для живлення серця. Цей факт цікавий з фізіологічної точки зору. Він є прикладом кореляційної координації функції органів. При посиленій роботі м’язів зростає інтенсивність кровообігу. Об’єм роботи серця зростає, і одночасно з цим до серця доставляється в збільшеній кількості молочна кислота, яка використовується в якості енергосубстрату.

Заклякання м’язів. Після смерті припиняється кровообіг і м’язова тканина позбавляється поживних речовин. Уповільнюється, а згодом припиняється видалення продуктів розпаду, реакція середовищ стає кислою, м’язи вкорочуються і тверднуть. Розвивається трупне заклякання – посмертне тверднення м’язів і пов’язана з ним нерухомість суглобів. Воно може настати через кілька хвилин або годин після клінічної смерті. Швидкість заклякання м'язів залежить від наявності в тканині глікогену, кислих продуктів обміну (молочної кислоти, вуглекислоти) і навколишньої температури. В тканині різко зменшуються запаси глікогену, АТФ, КрФ, глюкози тощо. Незабаром вони зникають зовсім. Внаслідок значного зростання вмісту молочної кислоти і фосфатів і збільшення кислотності, відбувається коагуляція білків. Ці процеси швидше настають у скелетних, повільніше – у гладеньких м’язах. Через деякий час заклякання м’язів припиняється і вони знову стають м’якими. Відсутність у трупа заклякання м’язів є важливою ознакою небезпечної хвороби – сибірської виразки.

Біохімія м’язового скорочення. Перші дані про хімізм м’язового скорочення були отримані в 1907 році англійськими вченими У.Флетчером і

Ф.Гопкінсом, які встановили, що чим більше м'яз виконує фізичну роботу, тим більше нагромаджується в ньому молочної кислоти.

В 1927 році О.Мейєргоф довів, що молочна кислота утворюється внаслідок розщеплення глікогену. Спочатку вважалось, що енергія для м'язового скорочення утворюється за рахунок фосфагену (креатинфосфату). Але пізніше було встановлено, що першою речовиною, яка дає енергію для скорочення м'язів, є АТФ.

Таким чином, основними біохімічними компонентами м'язового скорочення є актин та міозин, які, сполучаючись, утворюють комплекс актоміозин, і енергія від АТФ, яка ресинтезується за рахунок енергії фосфагену.

Про те, що актин і міозин мають АТФ-азну активність, встановили російські вчені В.О.Енгельгардт і М.М.Любімова.

Постійний вміст АТФ у м'язовій тканині пов'язаний з утворенням і розщепленням креатинфосфорної кислоти (КрФ). При надлишку в тканині АТФ вона під впливом креатинкінази взаємодіє з креатином (Кр):

Кр + АТФ → КрФ + АДФ.

При нестачі АТФ, наприклад в працюючій м'язовій тканині, здійснюється регенерація АТФ: КрФ + АДФ → Кр + АТФ.

Деяка частина АТФ може синтезуватися з фосфопіровиноградної кислоти і з 1,3-дифосфогліцеринової кислоти.

В хімізмі м'язового скорочення розрізняють дві фази:

1. АТФ в присутности актоміозину і води:

АТФ + актоміозин + H_2O → АДФ + H_3PO_4 + скорочення актоміозину.

Взаємодія АТФ з актоміозином є основою м'язового скорочення. При цьому витискується вода і зменшується об'єм часточок актоміозину.

2. АДФ + фосфаген → АТФ + креатин.

АТФ відновлюється за рахунок фосфагену (креатинфосфату). АТФ-азна функція актину і міозину активується за допомогою йонів Ca^{2+}, які виділяються в гіалоплазму. Після скорочення м'язів комплекс актин-міозин розщеплюється до актину і міозину. Саркомер і міофібрила відновлюються до вихідного стану. В гіалоплазмі м'язового волокна різко зменшується вміст йонів Ca^{2+}.

Гальмується діяльність міозинової АТФ-ази. М'язове волокно відновлює попередні запаси АТФ і КрФ.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Морфофункціональні особливості м'язової тканини.
2. Загальні особливості будови м'язів.
3. Хімічний склад скелетних м'язів.
4. Характеристика білків м'язової тканини.
5. Основні речовини для м'язового скорочення.
6. Фази м'язового скорочення.
7. Енергетика м'язового скорочення.
8. Ресинтез АТФ в м'язах.

5.2. Біохімія крові

Фізико-хімічні властивості крові. Кров – це біологічна рідина, яка забезпечує органи і тканини поживними речовинами і киснем. Разом з лімфою вона забезпечує утворення системи циркулюючих рідин, що об'єднують організм в єдине ціле.

Кров виконує в організмі ряд важливих функцій:

- *транспортну – транспортує кисень, вуглекислий газ, хімічні речовини;*

- *живильну – забезпечує органи і тканини поживними речовинами і киснем;*

- *видільну – транспортує продукти обміну;*

- *захисну – гама-глобуліни крові приймають участь в забезпеченні імунітету;*

- *регуляторну – буферні системи крові підтримують постійне pH середовища; гормони регулюють обмін речовин;*

- *терморегуляторну – підтримує температуру тіла на постійному рівні.*

Кров у ссавців складає в середньому 8-15% від маси тіла. У чоловіків об'єм крові складає 5200 мл, у жінок – 3900 мл.

Плазма крові – це кров без форменних елементів крові (еритроцитів, лейкоцитів, тромбоцитів). Плазма крові, звільнена від білку фібриногену, називається *сироваткою крові.*

В нормі відносна густина цільної крові 1,050-1,064; плазми – 1,024-1,030; клітин – 1,080-1,097. Кров володіє значною в'язкістю внаслідок високого вмісту білку і червоних кров'яних клітин (еритроцитів). В'язкість крові в 4-5 раз вище в'язкості води, сироватки крові – у 1,5-2 рази. Вона зростає при багатьох хворобах, нестачі води, важкій роботі тощо.

Осмотичний тиск крові – в межах 687-737 Па. Він на 75% залежить від вмісту в ній мінеральних речовин. Тиск, який створюють білки крові, називається *онкотичним.* В нормі він становить 15-17 мм рт. ст.

Кров має слаболужну реакцію. Встановлено, що стану норми відповідає лише певний діапазон коливань – від 7,37 до 7,44 із середньою величиною 7,40. Більш значні зміни pH крові в сторону підвищення або пониження концентрації йонів Гідрогену пов'язані з патологічними станами. Зміщення pH крові в кислу сторону в кислу сторону більше ніж на 0,2 називається ***ацидозом,*** в лужну - ***алкалозом***. Ці зміни призводять до коматозного стану і загибелі організму.

Сталість pH крові забезпечується за рахунок буферних систем. Основними з них є: гідрокарбонатна (7% загальної маси), фосфатна (1%), білкова (10%), гемоглобінова й оксигемоглобінова (до 81%), кислотна (близько 1%). У плазмі крові переважають гідрокарбонатна, фосфатна, білкова і кислотна буферні системи, в еритроцитах – гідрокарбонатна, фосфатна, гемоглобінова, оксигемоглобінова та кислотна. Кислотна буферна система утворена органічними кислотами (оцтовою, молочною, піровиноградною тощо) та їхніми солями з сильними основами. Якщо катіони Na^+ і K^+ позначити B, а гемоглобін – Hb, то буферні системи матимуть такий вигляд:

H_2CO_3,	BH_2PO_4,	H-Білок,	HHb,	$HHbO_2$,	Органічна кислота.
$BHCO_3$	B_2HPO_4	B-Білок	BHb	$BHbO_2$	Сіль органічної к-ти

Найбільше значення мають гідрокарбонатна і гемоглобінові буферні системи. В плазмі крові вміст гідрокарбонатів у 20 разів більший за вміст вугільної кислоти. Запас гідрокарбонатів у крові характеризується резервною лужністю, тобто кількістю основи, здатної зв'язувати вугільну кислоту та інші кислоти, що утворюються у процесі обміну речовин.

Механізм дії буферних систем можна проілюструвати на прикладі гідрокарбонатного буфера. При потраплянні в кров надлишку кислот, які можуть змістити pH у бік ацидозу, частина гідрокарбонатів буферної ситеми витрачається на нейтралізацію цих кислот:

$HCl + NaHCO_3 = H_2CO_3 + NaCl$.

Утворена вугільна кислота може входити до складу буферної системи, або як нестйка сполука розкладатися на CO_2 і H_2O. Підвищена концентрація CO_2 в крові подразнює дихальний центр головного мозку, діяльність легень посилюється і надлишок CO_2 виділяється в навколишнє середовище. NaCl видаляється з сечею.

Якщо в кров потрапляє надлишок основних продуктів, здатних змістити pH у бік алкалозу, вони нейтралізуються вугільною кислотою і зсув pH крові не відбувається: $NaOH + H_2CO_3 = NaHCO_3 + H_2O$.

Гідрокарбонат витрачається на поповнення нижньої частини буферної системи, його надлишок видаляється нирками, а вода виділяється звичайним шляхом: через шкіру, нирки, легені.

Хімічний склад плазми крові. Кров складається з плазми і форменних елементів (еритроцитів, лейкоцитів, тромбоцитів). На долю плазми приходиться біля 55% від об'єму крові. Еритроцити складають основну масу форменних елементів – 44% від загального об'єму крові, в той час як на долю інших клітин приходиться лише біля 1%.

В плазмі крові міститься 91-93% води; 7-9% сухого залишку. Сухий залишок крові складається з органічних і мінеральних речовин. Основою органічних речовин є білки (80%).

Білки плазми крові. Відомо близько 100 білкових компонентів плазми крові. Синтез білків плазми крові здійснюється переважно в клітинах печінки і ретикулоендотеліальної системи. Методом висолювання нейтральними солями білки плазми крові можна розділити на три групи: *альбуміни, глобуліни, фібриноген.* Нормальний вміст альбумінів в плазмі крові складає 40-50 г/л, глобулінів – 20-30 г/л, фібриногену – 2-4 г/л. Білки плазми, які залишились після видалення фібриногену, називаються *сироватковими білками крові.*

Фізіологічна роль білків плазми крові багатогранна: підтримують онкотичний тиск крові; приймають активну участь в звертанні крові (фібриноген – основний компонент звертання крові); визначають в'язкість крові; приймають участь в підтриманні pH крові; транспортують цілий ряд речовин до тканин (холестерин, білірубін, а також лікарські речовини); відіграють важливу роль в процесах імунітету (особливо це стосується імуноглобулінів); підтримують рівень катіонів в крові; служать резервом амінокислот.

Альбуміни **с**кладають 55-60% білків плазми. Їх молекулярна маса біля 70000. Внаслідок високої гідрофільності альбуміни грають важливу роль в підтриманні колоїдно-осмотичного тиску крові. Альбуміни виконують важливу роль при транспортуванні багатьох БАР (зокрема, гормонів). Вони можуть зв'язуватися з холестерином, жовчними пігментами. Значна частина кальцію в сироватці також зв'язана з альбумінами.

Свою назву альбуміни дістали залежно від джерела їх виділення: лактоальбумін (від лат. lakt – молоко); сероальбумін (від лат. serum – сироватка); овоальбумін (від лат. avis – птах) тощо.

За хімічним складом альбуміни характеризуються високим вмістом амінокислоти лейцину (15%), значним вмістом сірковмісних амінокислот, лізину, аспарагінової і глутамінової кислот і незначним вмістом гліцину. Деякі альбуміни зовсім не містять цієї амінокислоти (сироваточний альбумін).

Глобуліни методом електрофорезу діляться на ά, β, γ-глобуліни. Розділення базується на їхній різній електрофоретичній рухливості. Кожна фракція, в свою чергу, поділяється на під фракції (рис. 5.6).

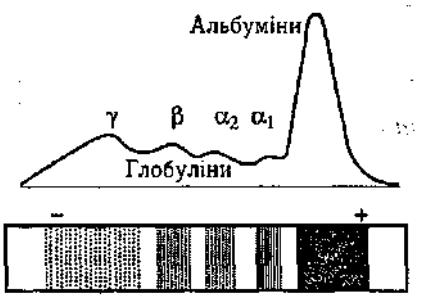


Рис. 5.6. Електрофоретичне розділення сироватки крові на фракції та підфракції

Відомо, що фракції ά і β-глобулінів містять ліпопротеїди і глікопротеїди. Серед компонентів ά і β-глобулінів є також білки, зв'язані з металами.

Глобуліни сироватки крові виконують життєво важливі функції. Так, ά і β-глобуліни беруть участь у транспортуванні до клітин нерозчинних у воді ліпідів, стероїдних гормоні. Вітамінів А, Д, Е, К. Вони зв'язують понад 2/3 холестерину крові. До складу α-глобулінів входять деякі ферменти, муко протеїни, протромбін тощо. Фракція β-глобулінів включає трансферний, антигемофільний глобулін та ін. При запальних процесах збільшується вміст ά-глобулінів, при гепатитах – β-глобулінів.

Гама-глобуліни мають найбільшу молекулярну масу (більше 200000). Тому для них характерна найменша електрофоретична рухливість. В цій фракції міститься більша частина антитіл, які є в сироватці крові. Гама*г*лобуліни ще називають імуноглобуліни. Зменшення вмісту білків цієї фракції різко знижує захисні сили організму.

В організмі глобулінам належить досить важлива роль. При різних патологічних процесах (інфекційних захворюваннях, злоякісних новоутвореннях) вміст їх значно збільшується, що пов'язано з утворенням специфічних антитіл. Гама-глобуліни, добуті із сироватки крові здорових або імунізованих тварин, застосовують з профілактичною і лікувальною метою.

Фібриноген. За своєю будовою – це складний білок (глікопротеїд) плазми крові, найважливіший компонент згортання крові. Молекулярна маса біля 30000. Під дією тромбіну фібриноген перетворюється у фібрин. Біосинтез фібриногену проходить в клітинах печінки.

Крім цих білків плазма крові містить ліпопротеїди, велику групу ферментів (протеїнази, протромбін, фосфатази, холінестерази, пепсин, трипсин, хімотрипсин, ентеропептидазу, еластиназу, карбоксипептидазу тощо), білки, гормони (інсулін, глюкагон, кальцитонін тощо). Їхня активність слугує діагностичним тестом у клінічній біохімії та під час діагностики різних захворювань.

Важливою складовою частиною крові *є небілкові азотисті речовини плазми і сироватки крові (залишковий азот).* Вміст їх в плазмі становить 0,02-0,06% і зростає при захворюваннях і важкій роботі.

До залишкового азоту входять вільні амінокислоти, сечовина, сечова кислота, алантоїн, креатин, креатинін, гіпурова кислота, білірубін, аміак, різні амонійні солі. Залишковий азот містить також поліпептиди, які утворюють кінінову ситему, що регулює кровотік, проникність стінок судин і згортання крові.

Амінокислоти завжди циркулюють в крові. Їх кількість зростає після прийому їжі і досить швидко знижується у зв'язку з тим, що клітини тканин вилучають необхідні амінокислоти з крові для побудови білків та інших азотовмісних речовин. З амінокислот майже третя частина припадає на долю глутамінової кислоти і глутаміну, які відіграють важливу роль в процесах обміну речовин.

Сечовина в крові міститься в кількості 0,2-0,3 г/л при надлишковому надходженні білків з їжею, підвищеному потовиділенні рівень сечовини в крові зростає. Стійке зростання кількості сечовини проти норми спостерігається при зворобах нирок, злоякісних пухлинах, діабеті.

Сечова кислота в нормі складає 0,03-0,04 г/л і її вміст зростає при подагрі майже в два рази.

Креатин в крові знаходиться в основному в еритроцитах і його визначають разом з креатинином: 0,01-0,015 г/л креатину і 0,01-0,02 г/л креатинину.

Безазотисті речовини плазми і сироватки крові. До цієї групи належить багато органічних сполук.

Вуглеводи. В плазмі крові містяться глюкоза, фруктоза, глікоген, глюкозамін, фосфати моноз та інші продукти проміжного обміну вуглеводів. Основа вуглеводів представлена глюкозою. Її вміст виражають у мікромолях. Разом з глюкозою при цьому визначають «домішки» – фруктоза, галактоза, маноза.

Глюкоза та інші монози в плазмі крові перебувають у вільному і зв’язаному з білками станах. Вміст зв'язаної глюкози досягає 40-50% загального вмісту вуглеводів.

Серед продуктів проміжного обміну вуглеводів виділяється молочна кислота, вміст якої в плазмі крові різко зростає після тяжкого фізичного навантаження.

Вміст глюкози в плазмі крові може змінюватися при багатьох патологічних станах. Явище гіперглікемії характерне для цукрового діабету, гіпертиреозу, шоку, наркозу, гарячки. Гіпоглікемія виникає при голодуванні, надлишковому надходженні в кров інсуліну тощо.

Ліпіди. В плазмі крові міститься до 0,7% і більше ліпідів. Ліпіди перебувають у вільному і зв’язаному з білками станах. Вміст ліпідів у плазмі змінюється при патології. Так, при туберкульозі він досягає 3-10%.

Ацетонові тіла. Їх вміст коливається від 0,001 до 0,005%. Він зростає при кетонах, цукровому діабеті, гепатитах та інших хворобах. Виникають ацетонемія, токсикози, ацетонурія.

Безазотисті вітаміни. У плазмі крові міститься багато провітамінів і вітамінів (каротин, ретинол, вітамін С тощо).

Мінеральні речовини плазми крові. У крові містяться різні мінеральні речовини, їх біологічне значення різноманітне. Вони беруть участь у підтриманні осмотичного тиску і сталості pH середовища, є активаторами й паралізаторами ферментів, будівельним матеріалом для органів і тканин, беруть участь у захисних реакціях організму.

Натрій – основний осмотично активний йон позаклітинного простору. В плазмі крові концентрація Na^+ приблизно у вісім разві вища (132-150 ммоль/л), ніж в еритроцитах (17-20 ммоль/л). Накопичення Натрію в плазмі крові спостерігається при захворюванні нирок, так званому паренхіматозному нефриті, у хворих з вродженою серцевою недостатністю. Коренція натрієвого обміну здійснюється введенням розчинів натрій хлориду з розрахунком дефіциту його в позаклітинному просторі і клітині.

Калій. Його концентрація в плазмі коливається від 3,8 до 5,4 ммоль/л; в еритроцитах його приблизно в 20 разів більше (до 115 ммоль/л). Рівень K^+ в клітинах значно вищий, ніж в позаклітинному просторі, тому при захворюваннях, які супроводжуються посиленим клітинним розпадом або гемолізом, вміст Калію в сироватці крові зростає.

Кальцій приймає активну участь в процесах нервово-мязової збудливості як антагоніст K^+, м'язового скорочення, згортання крові, утворює структурну основу кісткового скелета, впливає на проникність клітинних мембран тощо. В еритроцитах виявляються сліди Кальцію, в той час як в плазмі вміст його складає 2,25-2,80 ммоль/л.

Підвищення рівня Какльцію в плазмі крові спостерігається при розвитку пухлин в кістках, гіперплазії або аденомі прищитоподібних залоз. Кальцій в цих випадках в плазму надходить з кісток, які стають ламкими. Зниження концентрації Кальцію в плазмі крові спостерігається при рахіті, механічній жовтяниції, нефрозах, гломерулонефритах.

Магній. Це в основному двохвалентний внутрішньоклітинний йон, який міститься в організмі в кількості 15 ммоль на 1 кг маси тіла; концентрація Магнію в плазмі 0,8-1,5 ммоль/л, в еритроцитах 2,4-2,8 ммоль/л. В м'язовій тканині Магнію в 10 разів більше, ніж в плазмі крові. Рівень цього елементу в плазмі навіть при значних його втратах тривалий час може залишатися незмінним, поповнюючись з м'язового депо.

Фосфор. В дослідженнях крові виділяють різні фракції Фосфору. Для клінічних цілей найчастіше користуються визначенням неорганічного фосфату в плазмі (сироватці) крові.

Вміст неорганічного фосфату в плазмі крові зростає при гіпервітамінозі Д, при прийомі тироксину, опроміненні організму ультрафіолетовими променями, при атрофії печінки, мієломі, лейкозах тощо.

Залізо в цільній крові міститься в основному в еритроцитах (~18,5 ммоль/л), в плазмі концентрація його складає в середньому 0,02 ммоль/л. Щоденно в процесі розпаду гемоглобіну еритроцитів в селезінці і печінці вивільняється близько 25 мг заліза і стільки ж використовується при синтезі

гемоглобіну в клітинах кровотворних тканин. В кістковому мозку міститься лабільний запас заліза, який перевищує добову потребу в цьому елементі в п’ять разів. Знчно більший запас заліза в печінці і селезінці (біля 1000 мг, тобто 40-добовий запас). Підвищення вмісту заліза в плазмі спостерігається при послабленні синтезу гемоглобіну або посиленому розпаді еритроцитів.

При анемії різного походження потреба в залізі і всмоктування його в кишечнику різко зростають.

Мінеральні елементи, які містяться в крові в дуже незначних кількостях (10^{-6}-10^{-12}%), називаються *мікроелементами.* До них належать Йод, Купрум, Цинк, Кобальт, Селен тощо. Вважають, що більшість мікроелементів в крові знаходяться в зв’язаному з білками стані. Так, мідь плазми крові входить в склад церулоплазміну, цинк еритроцитів повністю належить ферменту карбоангідразі, 65-75% йоду крові знаходиться в органічно зв’язаній формі - у вигляді тироксину. Кобальт, який визначається в крові, також знаходиться в білковозв'язаній формі і лише частково як структурний компонент вітаміну B_{12}. Значна частина селену крові входить в склад активного центру фермента глутатіонпероксидази, а також зв’язана з іншими білками.

Характеристика форменних елементів крові. ***Еритроцити*** (від грец. erythros – червоний) – червоні кров’яні клітини крові. Переносять кисень від легень до тканин і вуглекислий газ від тканин до легень, регулюють кислотно-лужну рівновагу, підтримують ізотонію крові і тканин, адсорбують з плазми крові амінокислоти, ліпіди і переносять їх до тканин.

В 1 мм^3 (1 мкл) крові знаходиться в нормі 4-5,5 млн (в середньому $4{,}24 \cdot 10^6$ еритроцитів). Місцем їх утворення є в основному кістковий мозок, а також селезінка і печінка.

Зрілі еритроцити ссавців і людини не мають ядра, мають форму двовігнутого диску (за виключенням еритроцитів верблюда). Вони мають незначне клітинне дихання і яскраво виражений гліколіз (на 1 мл клітин протягом 1 год утворюється 300-700 мг молочної кислоти). Еритроцити характеризуються високим вмістом фосфорних ефірів тіаміну – 0,00001%.

Вміст еритроцитів представлений головним чином гемоглобіном, який обумовлює червоний колір крові. Кожний еритроцит містить до 280 млн молекул гемоглобіну. Близько 97% білка зосереджено всередині клітини. Завдяки гемоглобіну еритроцити в 70 разів швидше насичуються киснем, ніж плазма. Тому кров має високу кисневу ємність.

В даний час виявлені різні форми гемоглобінів, які різняться за амінокислотним складом глобіну, його білкової частини. Так, у ембріонів людини до 7-12 тижнів присутній примітивний гемоглобін – HbP, який пізніше замінюється на фетальний гемоглобін – HbF. В крові новонародженого рівень останнього коливається в межах 50-80% від загального гемоглобіну і доволі швидко замінюється гемоглобіном дорослого – HbA.

Найбільші еритроцити – у земноводних (70 мкм в діаметрі). Еритроцити вищих хребетних менші за розміром. У людини діаметр еритроцитів 7-8 мкм. Невеликі розміри еритроцитів і значна їх кількість створюють величезну поверхню, що дуже важливо для процесів дихання.

Еритроцити постійно утворюються і руйнуються. Середня тривалість життя еритроцитів у людини 100-120 діб, у собаки – 107, у кроля – 68 діб. За добу руйнується 1% еритроцитів.

Швидкість утворення еритроцитів зростає під дією любого фактору, який призводить до недостачі кисню в тканинах. Процес дозрівання еритроцитів доволі складний. Він проходить кілька стадій: нормобластів, ретикулоцитів і т.д.

При пошкодженні мембрани еритроцитів в результаті дії різних токсичних факторів, зміненого осмотичного тиску і т.д., гемоглобін та інші високомолекулярні компоненти еритроцитів виходять в плазму. Такий процес називається *гемолізом.*

Лейкоцити (білі кров'яні клітини). Їх вміст в крові складає 4000-10000 в 1 мм^3. На відміну від еритроцитів, це повноцінні клітини з великим ядром і мітохондріями, високим вмістом нуклеїнових кислоті окисним фосфорилуванням. В них зосереджений увесь глікоген крові, який служить джерелом енергії при недостачі ктсню, наприклад, в місцях запалення.

Лейкоцити поділяються на:

- *гранулоцити (базофіли, еозинофіли, нейтрофіли).* Вони утворюються в червоному кістковому мозку. Час дозрівання гранулоцитів становить 8-10 діб, тривалість перебування в судинах – від 10 до 15 діб;

- *агранулоцити (лімфоцити, моноцити).* Утворюються в лімфатичній тканині, тривалість життя окремих лімфоцитів може сягати 10 років. Основна функція лімфоцитів – утворення антитіл, зокрема, імуноглобулінів.

Хімічний склад лейкоцитів досить різноманітний: азот, креатин, фосфор, сечова кислота, креатинін, цукри, ферменти, вітаміни, макро- і мікроелементи. При патологіях, особливо при лейкемії, вміст і співвідношення цих речовин змінюється.

Для лейкоцитів характерна висока активність ферментів, пов'язаних з діяльністю лізосом: кислої та лужної фосфатаз, карбоксилестерази, ліпази, фосфоліпаз А і В та ін.. У лейкоцитах виявлені ЦХО і цитохромпероксидаза, вітаміни, багато макро- та мікроелементів. Вміст усіх цих речовин змінюється при патології, особливо при лейкозах.

Тромбоцити (кров'яні пластинки). Утворюються з цитоплазми мегакаріоцитів кісткового мозку. Їх форма видовжено-овальна, розмір 2-5 мкм^2. В них протікають всі основні біохімічні процеси: синтезується білок, проходить обмін вуглеводів і ліпідів. У ссавців тромбоцити не мають ядер. Тривалість життя – 8-11 діб. Основна фізіологічна функція тромбоцитів – участь в процесі згортання крові.

Тромбоцити багаті на білок, ліпіди, містять також фосфатиди, холестерин, глікоген та близько 11 факторів згортання крові. У сухому залишку тромбоцитів містяться Натрій, Калій, Кальцій, Магній, Купрум, Ферум і Манган. Тромбоцити характеризуються значним вмістом АТФ, високою активністю АТФази тощо.

Дихальна функція крові. В складі крові виявлено різні гази: кисень, вуглекислий газ, азот як у вільному, так і в зв'язаному станах. Наприклад, тільки 0,3-0,5% кисню перебуває у вільному стані, а 99,5-99,7% кисню – у зв'язаному вигляді з гемоглобіном. При зменшенні вмісту кисню в крові на

20-25% настає кисневе голодування. Це явище спостерігається при гірській хворобі, отруєнні газами (інертними, отруйними).

Дихальна функція крові полягає в перенесенні кисню від легень до тканин і органів і перенесенні вуглекислого газу від тканин до легень. При вдиху в повітрі міститься 20,9% кисню і 0,03% вуглекислого газу, у видихуваному повітрі вміст кисню складає 15,5-16,3%; вуглекислого газу – 4,1%.

Кров здійснює свою дихальну функцію перш за все завдяки наявності в ній гемоглобіну. Молекула гемоглобіну побудована з чотирьох субодиниць (поліпептидних ланцюгів), кожна з яких зв'язана з гемом. Отже, молекула гемоглобіну має чотири геми, до яких може приєднатися кисень. При цьому гемоглобін переходить в оксигемоглобін.

Фізіологічна функція гемоглобіну як переносника кисню базується на властивості зворотно зв'язувати кисень в залежності від різниці парціального тиску (це тиск окремого газу в суміші газів). Тому в легеневих капілярах проходить насичення крові киснем, а в тканинних капілярах, де парціальний тиск кисню різко знижений, відбувається віддача кисню тканинам.

Тиск кисню в повітрі складає 20,3 кПа. Кисень, який дифундує через стінки епітелію, сполучається з гемоглобіном, утворюючи оксигемоглобін – HbO_2. Оксигемоглобін у складі артеріальної крові надходить у органи і тканини, де створюються оптимальні умови для газообміну.

В альвеолярному повітрі тиск кисню становить 14,7 аПа, в тканинах він зменшується до 5,3 кПа, в міжклітинній рідині – до 0,7-2,7 кПа. Внаслідок зменшення тиску оксигемоглобін розпадається на гемоглобін і кисень. Кисень дифундує в клітини і використовується для клітинного дихання. Гемоглобін в тканинах легко приєднує вуглекислий газ (утворюється карбгемоглобін), який потім виділяється в навколишнє середовище в результаті переходу в капілярах легень карбгемоглобіну в гемоглобін.

Здатність гемоглобіну зв'язувати кисень залежить від різних факторів:

а) pH. Чим менше pH, тим менша здатність гемоглобіну зв'язувати кисень. В тканинних капілярах pH нижче (поступає велика кількість вуглекислого

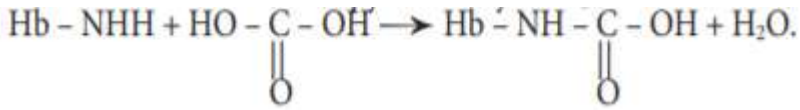
газу), в зв'язку з чим гемоглобін легко віддає кисень В легенях вуглекислий газ виділяється, pH підвищується і гемоглобін приєднує кисень;

б) температура. Чим вища температура (в тканинах температура вище, ніж в легенях), тим менша спорідненість гемоглобіну до кисню. Навпаки, пониження температури викликає зворотні явища;

в) вік. У новонароджених вміст гемоглобіну доходить до 20-21% (замість звичних для дорослого 13-16%). У людини є кілька гемоглобінів, які утворюються в різній кількості в різні стадії онтогенезу і відрізняються за своєю спорідненістю до кисню.

Перенесення вуглекислого газу від тканин до легень відбувається двома шляхами:

- *перший шлях* – 20% вуглекислого газу переноситься еритроцитами у вигляді карбамінової сполуки (карбгемоглобіну). Ця сполука утворюється з допомогою вільних амінних груп глобіну і CO_2:



Вона нестійка, і в капілярах легень від неї легко відщеплюється CO_2.

- *другий шлях* – 80% CO_2 поступає в кров і зв'язується з лугами плазми і еритроцитів і утворюються гідрокарбонати – $NaHCO_3$, $KHCO_3$. Ці реакції оборотні:

Еритроцити: $KHb + HCO_3^- + H^+ \leftrightarrow KHCO_3 + HHb$;

Плазма: Na –Білок + HCO_3^- + $H^+ \leftrightarrow NaHCO_3$ + H – Білок.

В капілярах оксигемоглобін витискує вугільну кислоту з гідрокарбонатів. Ця кислота під впливом ферменту карбоангідрази розпадається на CO_2 і воду, які виділяються з видихуваним повітрям:

$KHCO_3 + HHbO_2 \rightarrow KHbO_2 + CO_2\uparrow + H_2O$.

Участь гемоглобіну у газообміні пов'язана з його здатністю утримувати pH крові на певному рівні. Це досягається в результаті обміну йонами між плазмою і еритроцитами в тканинах організму і в легенях (рис. 5.7).

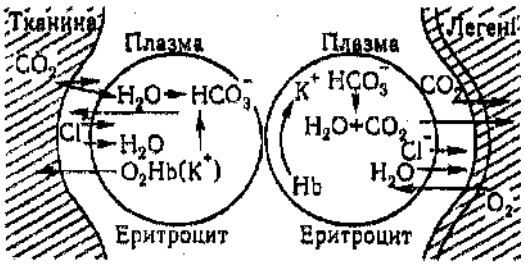


Рис. 5.7. Роль еритроцитів в обміні газів між тканинами і легенями

Мембрана еритроцитів пропускає всередину аніони плазми (Cl^-) і майже непроникна для катіонів (Na^+ і K^+). Зі збільшенням парціального тиску вуглекислого газу в капілярах тканин аніони Cl^- переходять в еритроцити, утворюючи солі з катіонами K^+ гемоглобіну. Катіони Na^+ плазми вступають у реакцію з аніонами HCO_3^-, утворюючи гідрокарбонати:

Еритроцити: $K^+ + Cl^- \rightarrow KCl$;

Плазма: $Na^+ + HCO_3^- \rightarrow NaHCO_3$.

У капілярах легень під впливом HbO_2 реакція відбувається у зворотному напрямку, що призводить до виділення CO_2.

Організм масою 70 кг щодоби споживає в середньому 600 л O_2 і виділяє 450 л CO_2. Здатність крові зв'язувати кисень називають кисневою ємністю крові (КЄК).

КЄК – це та кількість кисню, яка зв'язується 100 мл крові при умові повного переходу гемоглобіну в оксигемоглобін.

Зменшення КЄК призводить до гіпоксії.

Гіпоксія (кисневе голодування) – стан, який виникає при недостатньому забезпеченні тканин організму киснем або порушенні його утилізації в процесі біологічного окиснення.

При недостатньому надходженні кисню в тканини спостерігається навіть *аноксія* – припинення дихання.

Різні види гіпоксії спостерігаються: при підйомі на висоту (гірська хвороба); при порушенні проходжуваності дихальних шляхів (запальний процес, чужорідні тіла, спазм), зменшенням дихальної поверхні легень (набряк легень, пневмонія); при порушеннях кровообігу, які призводять до недостатнього забезпечення органів і тканин киснем; при анеміях, внаслідок

яких зменшується маса еритроцитів або різко падає вміст гемоглобіну в еритроцитах; при отруєннях Карбон (II) оксидом (при утворенні карб оксигемоглобіну), і при утворенні метгемоглобіну, а також при деяких генетично обумовлених аномаліях гемоглобіну; при порушенні здатності тканин поглинати кисень з крові (в результаті пригнічення біологічного окиснення різними інгібіторами, порушення синтезу ферментів або пошкодження мембранних структур клітини).

Типовим прикладом може служити отруєння ціанідами. Попадаючи в організм, йони CN^- активно взаємодіють з трьохвалентним залізом, тим самим блокуючи кінцевий фермент дихального ланцюга – цитохромоксидазу; в результаті пригнічується поглинання кисню клітинами.

Згортання крові. ***Згортання крові*** *– це захисна реакція організму, яка запобігає крововтратам при порушенні цілісності кровоносних судин.*

Швидкість згортання крові зменшується при пониженні температури. Наприклад, при 13°С кров коня згортається через 40 хвилин, при 10°С – через 20 хвилин.

Здатність крові згортатися з утворенням згустку в просвіті кровоносних судин при їх пошкодженні була відома з давніх часів. Створення першої наукової теорії згортання крові в 1872 році належить О.О. Шмідту, професору Тартуського університету. Вчений показав, що кров згортається в результаті перетворення фібриногену на фібрин. Цей процес ферментативний. Процес перетворення фібриногену у фібрин відбувається при дії ферменту тромбіну. Утворення активного тромбіну відбувається із неактивної форми – протромбіну, який синтезується в печінці в присутності вітамінів групи К ($К_1$ – філохінон, $К_2$ – фарнохінон).

Встановлено, що в процесі згортання крові приймають участь компоненти плазми, тромбоцитів і тканини, які називаються *факторами згортання крові.*

Фактори згортання, зв'язані з тромбоцитами, прийнято позначати арабськими цифрами (1, 2, 3...), а фактори згортання, що знаходяться в плазмі крові, – римськими цифрами (I, II, III...).

Розглянемо основні фактори згортання крові:

1. фібриноген (фактор I) – білок плазми крові, глікопротеїд, який має глобулярну будову. Молекулярна маса фібриногену 400000. В плазмі крові його 0,35-0,40%. Під впливом ферменту тромбіну він перетворюється у фібрин. Фібриноген синтезується в печінці, складається з трьох пар поліпептидних ланцюгів, які зв'язані між собою дисульфідними зв'язками.

Під впливом ферменту тромбіну від фібриногену відщеплюються два поліпептидні ланцюги – А і В. При цьому звільняються активні центри в його молекулі і утворюється *фібрин-мономер.* При з'єднанні кількох таких мономерів утворюється *фібрин-полімер*, на який осідають форменні елементи крові (в основному еритроцити).

2. Протромбін (фактор II) – це неактивна форма ферменту тромбіну (тобто, профермент або зимоген). Це глікопротеїд, містить приблизно 5% вуглеводів. Синтезується в печінці при наявності вітаміну К. Молекулярна маса протромбіну коня 130000, бика – 68500.

Перетворюється на тромбін під впливом тромбопластину (тромбокінази). Крім перетворення фібриногену на фібрин, фермент ущільнює (здійснює рефракцію) кров'яного згустку.

3. *Тромбін (фактор II а)* – активний фермент. Відноситься до класу гідролаз, підкласу протеїназ. За хімічною будовою є складним білком глікопротеїдної природи. Молекулярна маса 40000. Молекула білку складається з двох поліпептидних ланцюгів – А і В. А-ланцюг містить 49 залишків амінокислот, а В-ланцюг – 265. Стабілізується структура молекули за допомогою міжланцюгових дисульфідних зв'язків. Виділяється тромбін у вигляді неактивного попередника(протромбіну) і перетворюється на активну форму внаслідок часткового протеолізу.

Тромбін забезпечує перетворення фібриногену на фібрин та активує фактори згортання крові, стимулює агрегацію тромбоцитів та утворення кров'яного згустку, а також його рефракцію (ущільнення). Перетворення протромбіну в тромбін відбувається в присутності йонів Ca^{2+} і при pH 7,2-7,9.

4. *Тромбопластин (тромбокіназа, фактор III)* – білково-ліпідний комплекс, важливий компонент системи згортання крові. Молекулярна маса 43000с. У вигляді простетичної групи містить фосфоліпіди. Локалізується в мембранних структурах ендотеліальних клітин та клітин гладенької мускулатури. Бере участь в активації процесів згортання крові. Під його впливом протромбін перетворюється в тромбін.

Є дві форми тромбопластину:

а) *тканинний* – виділяється зразу в активному вигляді.

б) *тромбоцитарний* – активується йонами Ca^{2+} і конвертину. Це відбувається при порушенні цілісності судин.

5. *Конвертин (фактор VII)* – синтезується в печінці під впливом вітаміну К (konventere – змінювати). Це білок. В присутності іонів Ca^{2+} активує перетворення неактивного тромбопластину в активну форму.

6. Аксельрин (фактор V) – глобулярний білок, що міститься в крові (від лат. acceleratio – прискорення). Разом з тромбопластином прискорює перетворення протромбіну на тромбін. У крові знаходиться у вигляді неактивного попередника проаксельрину. Перетворення його на активну форму здійснюється за участю тромбіну, який утворюється з протромбіну.

Всі фактори, які сприяють згортанню крові, називають *коагулярними.*

Існують *антикоагулянти* – речовини, які затримують згортання крові. До таких речовин відносяться:

- оцтовокислий калій – CH_3COOK;

- лимоннокислий натрій, калій або амоній (ці речовини зв’язують йони Ca^{2+});

- гепарин (від грецького hepar – печінка). Синтезується в печінці. За хімічною будовою – мукополісахарид. Молекулярна маса 15000-20000. Виділяють із печінки та легень ВРХ у вигляді натрієвої солі, добре розчинної у воді. Зв’язується з антитромбіном, внаслідок чого посилюється гальмуючий вплив його на тромбін та інші протеази, які беруть участь у процесах згортання крові;

- гірудін (речовина, яку виділяють слинні залози п’явок) – зв’язує тромбін; для затримання згортання крові додають 0,0001 г гірудіну на 1 $см^3$ крові);

- дикумарин, неодикумарин;

- фібринолізин, церебролізин – розсмоктують тромб;

- імобілізовані ферменти (від латинського immobilis – нерухомий) – штучно добуті комплекси ферментів з нерозчинним у воді носієм, які розсмоктують тромби.

Венозна кров згортається повільніше, ніж артеріальна; чим менше кисню у венозній крові людей, тим повільніше вона згортається. Сповільнюється цей процес при деяких хворобах печінки. У людей буває особлива хвороба, так звана *гемофілія,* коли кров зовсім не може згортатися. При гемофілії незначне поранення загрожує такою втратою крові, що людина може померти.

Процес згортання крові проходить в три фази:

1. утворення тромбопластину;

2. утворення тромбіну;

3. утворення фібрину.

В першій фазі під впливом травми руйнуються тканини судин. З тромбоцитів виділяється неактивний тромбопластин, який під впливом конвертину та йонів Ca^{2+} перетворюється в активний тромбопластин.

В другій фазі під впливом плазменного і тканинного тромбопластину та йонів Ca^{2+}, а також аксельрину протромбін перетворюється в тромбін.

В третій фазі під впливом тромбіну фібриноген переходить у фібрин-протомер, а потім під впливом йонів Ca^{2+} – на нерозчинний фібрин-полімер.

На переплетених нитках фібрину осідають форменні елементи крові. Виникає згусток крові, який закриває просвіт травмованої кров’яної судини.

У згортанні виділяють також післяфазу, в якій утворений кров’яний згусток ретрактує (ущільнюється). При цьому виділяється сироватка крові. На нитках фібрину адсорбується тромбін.

Тромб стає основою для регенерації стінки судини.

Хімізм згортання крові представлено на рис. 5.8.

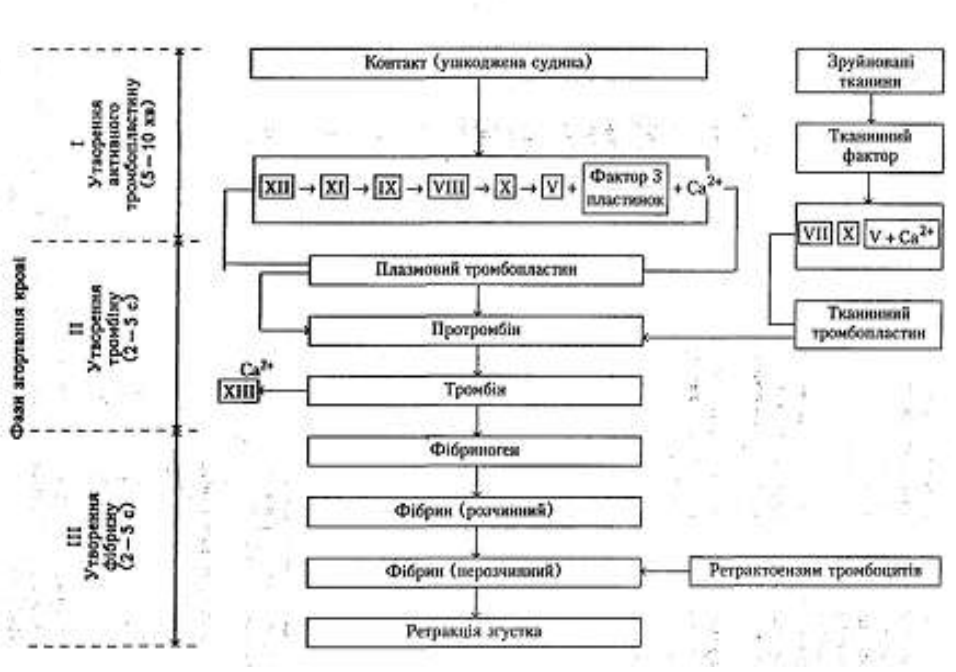


Рис. 5.8. Схема згортання крові (за Л.М.Ішимовою)

Згортання крові регулюється ЦНС, а саме руховою ділянкою кори великих півкуль головного мозку, гіпоталамусом, гіпофізом.

В регуляції зсідання крові приймають участь ряд гормонів: адреналін, кортизон, соматотропін, вазопресин, окситоцин, тестостерон, прогестерон (прискорюють цей процес); тироксин (уповільнює процес згортання крові).

Лімфа разом з кров'ю становить систему циркулюючих в організмі рідин, які омивають усі органи і тканини, забезпечуючи доставку поживних речовин та виділення продуктів розпаду.

Лімфа – прозора або слабоопалесціююча рідина з нудотним запахом, солона на смак. Під час травлення лімфа, що відтікає від кишок. Набуває молочного кольору внаслідок наявності в ній жирових крапель. Її називають *молочним соком*, або *хілусом*.

Густина лімфи становить 1,012-1,026, відносна в’язкість – 1,0-1,5, pH – 7,4-9, поверхневий натяг – 1,0-1,2. Загальний вміст лімфи досягає рівня вмісту крові.

Хімічний склад лімфи і плазми крові подібний (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Хімічний склад лімфи і плазми крові, мг/100 г

(за Д.Л.Фердманом)

Речовина	Лімфа шийного стовбура	Лімфа грудної протоки	Плазма крові
Вода	95	94	90
Білки	2	4	7
Фібриноген	—	40	300
Глюкоза	100	110	100
Натрій	330	330	320
Калій	23	24	20
Кальцій	10	11	10
Магній	3	3	1,8
Хлор	420	410	370
Фосфор неорганічний	3	4	3,7

Склад лімфи змінюється при патології.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Основні фізико-хімічні властивості крові.
2. Хімічний склад плазми крові.
3. Білки плазми крові.
4. Хімічний склад форменних елементів крові.
5. Механізм здійснення дихальної функції крові.
6. Хімічна природа основних факторів згортання крові.
7. Хімізм згортання крові.
8. Хімічний склад і фізико-хімічні властивості лімфи.

5.3. Біохімія нирок і сечі

Будова, функції і хімічний склад нирок. Усі клітини організму постійно виділяють в оточуюче їх середовище продукти своєї життєдіяльності. Виведення кінцевих продуктів обміну з організму є обов'язковою умовою життя. При порушенні процесів виділення змінюється гомеостаз внутрішнього середовища, організм самоотруюється і гине. У багатоклітинних організмів розрізняють видільну функцію окремих клітин і організму в цілому. Клітини виділяють продукти кінцевого і проміжного обміну в міжтканинну рідину, а спеціалізовані видільні системи, виводячи продукти обміну з організму в довкілля, утримують продукти проміжного обміну. Крім власне кінцевих продуктів обміну (вуглекислий газ, вода, аміак, сечовина, сечова кислота та ін.),

органами виділення виводяться з організму речовини, які утворюються при розпаді клітки, що відмирають, випадкові або постійні домішки до їжі, усі інші речовини, які не мають фізіологічного значення для організму. Важливими функціями системи виділення є також підтримання концентрації йонів (Натрію, Калію, Кальцію, Гідрогену, Хлору тощо), об'єму тканин тіла і осмотичного тиску крові.

Функцію виділення в організмі виконують нирки, легені, травний канал, шкіра, слинні, молочні і сальні залози (рис. 5.9).

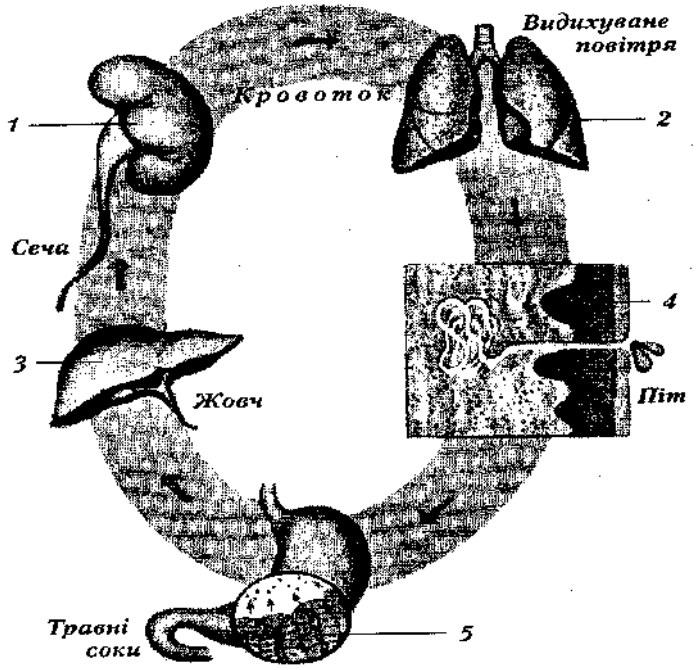


Рис. 5.9. Органи, які беруть участь в очищенні крові від продуктів метаболізму: 1 – нирки, 2 – легені, 3 – печінка. 4 – шкіра. 5 – травний тракт

Через легені і шкіру з організму виділяється вуглекислий газ і вода. Кількість води, яка виділяється легенями і шкірою, приблизно однакова (разом близько 1000 мл за добу), через легені виводяться 99% вуглекислого газу, через травний канал – солі важких металів, кальцій, холестерин, жовчні пігменти, вода тощо.

Нирки (їх дві) розміщені в поперековому відділі на задній стінці черевної порожнини. Кожна нирка складається з двох шарів: коркового і мозкового. Корковий (зовнішній) шар нирки утворений великою кількістю мікроскопічної величини нефронів.

Загальна схема будови нирки подана на рис. 5.10.

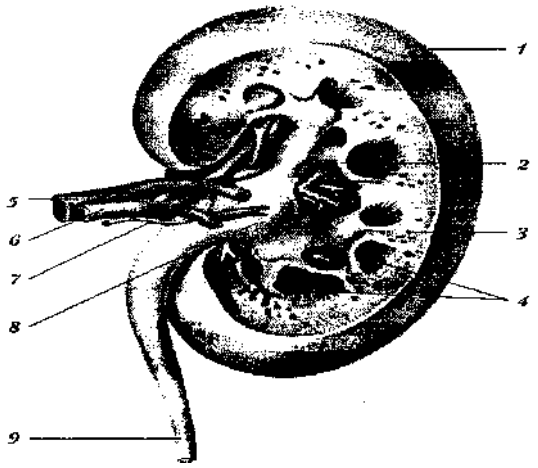


Рис. 5.10. Загальна схема будови нирки людини: 1 — капсула; 2 — чашечка; 3 — коркова речовина; 4 — мозкова речовина; 5 — вени; 6 — артерія; 7 — нервове сплетіння; 8 — лоханка; 9 — сечовивідний канал

Нефрон – це основна структурна і функціональна одиниця нирки. Їх кількість – 1-3 млн. Між нефронами знаходиться сполучна тканина. Нефрон починається капсулою Шумлянського-Боумена. Це порожнисте кулькоподібне утворення, вистлане одношаровим плоским епітелієм. В середині капсули розміщені два клубочки капілярів, які називаються мальпігієвими. Кожний клубочок складається із великої кількості капілярних петель, утворених артеріолою. В порожнині капсули вона одразу ж розпадається на капілярні петлі, згодом усі вони зливаються у венозну артеріолу, яка знову утворює капілярну сітку навколо канальців.

Важливо відмітити, що кровоносна судина, по якій кров надходить до капсули, ширша, ніж та, по якій кров витікає з капсули. Цим створюється підвищений гідростатичний тиск, необхідний для фільтрації крові. При масі нирок 0,43 % від маси тіла, через них проходить до 25 % усієї крові, яка циркулює в системі кровообігу.

Від порожнини капсули нефрону відходить сечовий каналець, який спочатку має звивисту форму – звивистий каналець 1-го порядку. Доходячи до межі між корковим і мозковим шаром нирки, каналець звужується і випрямляється. В мозковому шарі він утворює петлю Генле і повертається в корковий шар нирки. Таким чином, петля Генле складається з проксимальної і дистальної частин. В корковому шарі нирки, або на межі коркового і мозкового

шарів, прямий каналець знов набуває звивисту форму, утворюючи звивистий каналець 2-го порядку. Останній впадає у вивідну протоку – збиральну трубочку (рис. 5.11).

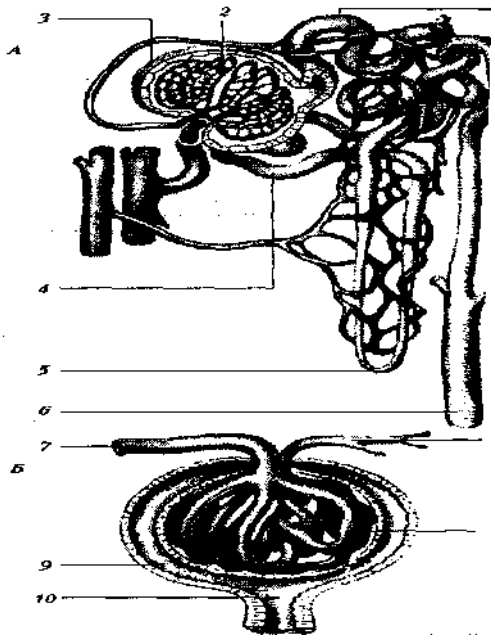


Рис. 5.11. Будова і кровозабезпечення нефрона (А — нефрон; Б — мальпігієвий клубочок):
1 — дистанальний звивистий каналець; 2 — клубочок; 3 — капсула;
4 — проксимальний звитий каналець; 5 — петля Генле; 6 — збиральна трубочка;
7 — приносна артерія; 8 — виносна артерія; 9 — капсула; 10 — порожнина капсули;
11 — капіляри

Значна кількість таких збиральних трубочок, зливаючись, утворюють загальні вивідні протоки. Пройшовши через коркову і мозкову речовину, вивідні протоки ідуть до вершин сосочків, які виступають в порожнину ниркової миски. Ниркові миски відкриваються в сечовивід, по якому сеча надходить в сечовий міхур.

Діаметр кожної капсули Шумлянського-Боумена близько 0,2 мм, загальна довжина канальців одного нефрона 35-50 мм, довжина усіх канальців нирок близько 100 м, площа поверхні капсул клубочків – 1,5-2 м^2.

Важливою особливістю кровообігу нирок є те, що кров проходить по них через подвійну сітку капілярів: перший раз в капсулі, другий – в звитих канальцях.

Тільки після цього капіляри утворюють вени, які впадають у нирку, а далі в нижню порожнисту вену. В стінці провідної артеріоли в місці її входження у

клубочок є потовщення, утворене міоепітеліальними клітинами – юкстагломерулярний (біляклубочковий) комплекс. Клітини цього комплексу при зменшенні ниркового кровотоку виділяють біологічно активну речовину – ренін, який бере участь в регуляції рівня артеріального тиску.

Основними функціями нирок є: підтримання концентрації води, солей, глюкози та інших кристалоїдів в організмі; регулювання кислотно-лужної рівноваги і кислотності крові; підтримання необхідного осмотичного тиску тканинної рідини і крові; виділення з організму кінцевих продуктів обміну речовин; ендокринна функція.

Склад нирок: вода – 83%, сухий залишок – 17%. До сухого залишку входять органічні (до16%) і неорганічні (1%) речовини. Основа органічних речовин – білки (12,3%). Вони складаються з 5-6 білкових фракцій:

• 40% – за електрофоретичною активністю подібні до ά-глобулінів сироватки крові;

• 20% – до β-глобулінів;

• 10-20% – до γ-глобулінів;

• 3-8% – до альбумінів;

• 11-16% – становлять малорухливу фракцію.

В нирках містяться амінокислоти тирозин, триптофан, фенілаланін, серин, треонін, оксипролін, аргінін, гістидин, лізин, цистин, метіонін; ферменти всіх шести класів; нуклеїнові кислоти; ліпіди (2-5% сухої маси: фосфоліпіди, сульфоліпіди, нейтральні жири, сфінгомієліни); вуглеводи (1,1-1,2%: глікоген, глюкоза, глікозамінглікани); мінеральні речовини (1,1-1,2%: Калій, Натрій, Хлор, Фосфор, Кальцій, Магній, Бром, Силіцій, Йод).

На кровообіг у нирках витрачається близько 1/3 роботи серця. При цьому нирками поглинається 8-10% всього кисню, що надходить в організм; 90% енергетичних речовин витрачається на власне видільну функцію, решта 10% – для інших потреб нирок.

Основне джерело хімічної енергії в нирках – вуглеводи. У вивільненні енергії переважає аеробний шлях і пов’язане з ним окисне фосфорилування. Частину енергії нирки отримують за рахунок розпаду ліпідів і особливо жирів.

У тканинах нирок інтенсивно проходить обмін білків та інших азотистих сполук. Тут здійснюються реакції дезамінування, особливо глутаміну, дещо менше – амінокислот і пуринових похідних. Частина аміаку при цьому йде на нейтралізацію неорганічних і органічних кислот; з аміаку утворюється гуанідиноцтова кислота – джерело креатину.

Механізм утворення сечі. Згідно з загальноприйнятою фільтраційно-реабсорбіційною теорією, сечоутворення в нирках є наслідком ультрафільтрації і реабсорбції. Цей складний процес проходить в три етапи: 1) фільтрація плазми крові в ниркові канальці; 2) реабсорбція частини речовин з фільтрату; 3) секреція сечі в клітинах ниркових канальців.

На *першому етапі* у верхні відділи ниркового канальця з мальпігієвого клубочка фільтрується первинна сеча. Вона складається з води, амінокислот, глюкози, сечовини, багатьох продуктів метаболізму, мінеральних речовин. Близько 20% плазми крові фільтрується у вигляді первинної сечі. Інтенсивність фільтрації визначається *кліренсом, або коефіцієнтом очищення,* який дорівнює:

$$\frac{\text{Концентрація речовини в сечі, ммоль/л} \cdot \text{Кількість сечі, мл}}{\text{Конценрація речовини в плазмі, ммоль/л}}$$

Ультрафільтрація плазми крові з капілярів клубочка нирки в порожнину капсули є результатом взаємодії: 1) тиску крові капіляра клубочка нирки (P_k); 2) онкотичного тиску колоїдів крові (P_o); 3) гідростатичного тиску рідини в просвіті капсули клубочка (P_{rk}).

Ефективний фільтраційний тиск (ЕФТ) визначається за формулою:

$$ЕФТ = P_k - (P_o - P_{rk}).$$

При P_k = 70 мм рт. ст., P_o = 30 мм рт. ст., P_{rk} = 20 мм рт. ст. ЕФТ становитиме 20 мм. рт. ст. З формули випливає, що усі ті чинники, які підвищують кров'яний тиск – посилюють фільтрацію, а які збільшують онкотичний тиск – сповільнюють її.

Щодоби через нирки протікає від 700 до 1500 л крові, з якої утворюються 180 л первинної сечі. Первинна сеча відрізняється від плазми крові відсутністю білків. Це обумовлено сітчастою структурою основної перетинки капсули, яка складається з тонких колагенових волокон, розташованих на відстані 3,5-7 нм

одна від одної (молекулярне сито). Оскільки діаметр молекул білків більший, ніж розміри щілин молекулярного «сита», вони не проходять в первинну сечу. Усі інші речовини плазми крові, з меншим діаметром молекул (молекулярною масою 5500 і менше) вільно проходять в первинну сечу.

Другий етап сечоутворення – реабсорбція окремих складових частин первинної сечі в проксимальних відділах ниркових канальців. Це фаза зворотного всмоктування. Вона відбувається проти градієнта концентрації, оскільки концентрація речовин у рідині канальців невелика порівняно з концентрацією їх у крові. Процес здійснюється білковими переносниками, які сполучаються з глюкозою і транспортують її до капілярів через ендоплазматичну сітку клітини (рис. 5.12).

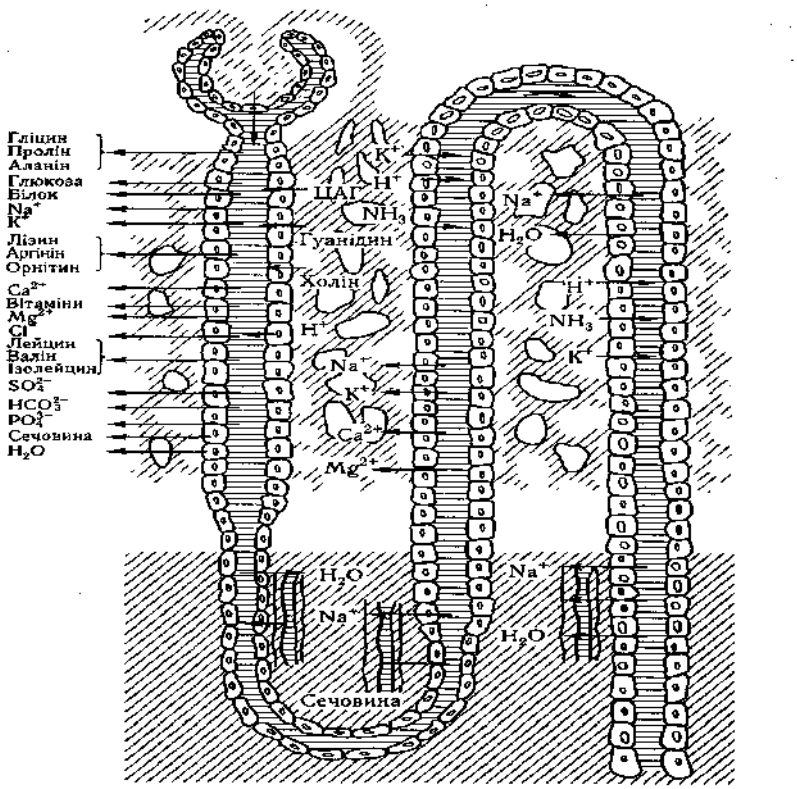


Рис.5.12. Схема реабсорбції і секреції речовин клітиною проксимального сегмента нефрона (за Ю.В.Наточиним)

Зворотне всмоктування з первинної сечі води та інших необхідних організму речовин, відбувається в звивистих канальцях та в петлі Генле. Стінки звивистих канальців представлені епітелієм, який різний в різних її відділах. У звивистих канальцях першого порядку епітеліальні клітини мають циліндричну

форму, в зоні низхідної частини петлі Генле вони ущільнюються, у висхідній частини петлі, як і в звивистих канальцях другого порядку, епітелій стає кубічним.

Внутрішня поверхня циліндричних клітин утворена мікроворсинками. Це збільшує загальну поверхню канальців до 50 м^2. Така велика сумарна поверхня канальців забезпечує великий об'єм реабсорбції. Мікроворсинки знаходяться також в зоні петлі Генле.

Зворотне всмоктування речовин з первинної сечі залежить від їх концентрації в крові. Так, якщо концентрація глюкози в плазмі крові не перевищує 150-180 мг%, то вона повністю реабсорбується, якщо ж вміст глюкози в плазмі вище вказаних величин, то вона реабсорбується не повністю і частина її надходить в сечу (глюкозурія). Таким чином, виділення окремих речовин через нирку визначається їх концентрацією в крові. Та концентрація даної речовини в крові, при якій вона не може бути повністю реабсорбована в канальцях і надходить в кінцеву сечу, називається *порогом виведення.*

Всі речовини, що всмоктуються в кров з первинної сечі, називаються *пороговими.* До них належать: глюкоза, амінокислоти, а також значна частина йонів та інших речовин. Речовини, які не піддаються зворотному всмоктуванню і повністю виводяться з кінцевою сечею, називаються *непороговими.* До них відносяться кінцеві продукти білкового обміну речовин: аміак, сечовина, креатинін, сульфати тощо.

Існують певні особливості зворотного всмоктування окремих речовин з первинної сечі. Так всмоктування Натрію, глюкози, амінокислот та деяких інших речовин проходять за участю активних процесів транспорту. В реабсорбції йонів Натрію через епітелій канальців важлива роль належить ферменту дегідрогеназі янтарної кислоти.

На процеси активного утворення кінцевої сечі витрачається значна частина кисню, який іде на окиснення енергосубстратів. Маючи невелику масу (122 частина від маси тіла), нирки споживають 11 частину кисню (від його споживання організмом в цілому).

В дуже великих кількостях в канальцях під дією законів дифузії і осмосу проходить всмоктування води. Всмоктування глюкози, Натрію, Кальцію і Калію, та інших речовин з первинної сечі в тканинну рідину нирок і в кров підвищує осмотичний тиск тканинної рідини і знижує осмотичний тиск канальцевої сечі. Вона стає гіпертонічною щодо тканинної рідини. Внаслідок різниці осмотичних тисків вода переходить з первинної сечі в тканинну рідину і в кров. Цей пасивний процес проходить паралельно активному транспорту органічних і неорганічних сполук. Перехід води вирівнює осмотичний тиск сечі в звивистих канальцях першого порядку до рівня осмотичного тиску тканинної рідини і крові, тобто сеча в цих канальцях стає ізотонічною щодо крові.

В петлі Генле ізотонічність сечі порушується внаслідок функціонування особливого механізму – *зворотно-протитечної системи.* Суть роботи даної системи полягає в тому, що два коліна петлі Генле (нисхідне і висхідне), тісно торкаючись одне одного, функціонують взаємозв'язано як єдиний механізм.

Епітелій проксимального відділу петлі Генле пропускає воду, але не пропускає йони Натрію, а епітелій дистального відділу петлі володіє здатністю активно пропускати йони Натрію і в той же час не пропускає води з просвіту канальців в тканинну рідину.

При проходженні сечі через низхідні петлі нефрона, внаслідок переходу води в тканинну рідину, сеча поступово згущається. Перехід води – пасивний процес, обумовлений тим, що епітелій розміщеного поруч висхідного (дистального) відділу петлі Генле активно реабсорбує йони Натрію, перетягує туди молекули води, що перейшли в тканинну рідину, але не з дистального, а з проксимального канальців. Це призводить до значного згущення сечі, і в зоні вершини петлі вона стає найбільш концентрованою. Подальше всмоктування йонів Натрію, Калію, води та інших речовин проходить в звивистих канальцях 2-го порядку, а також продовжується в збиральних трубочках. Концентрування гіпотонічної сечі, яка надходить у збиральні трубочки, обумовлено в основному всмоктуванням води.

Третій етап утворення сечі – секреція клітинами ниркових канальців у вторинну сечу продуктів обміну речовин: парааміногіпурової кислоти,

сечовини, креатину тощо. Цей процес стає інтенсивнішим у міру наближення сечі до миски. З неї сеча надходить у сечівники і сечовий міхур. У процесі секреції в сечу виділяються чужорідні для організму речовини, які потрапили разом з їжею, водою. Повітрям, багато лікарських засобів та отруйних продуктів.

У місці впадання артеріоли в клубочок знаходиться група епітеліальних клітин із значною кількістю нервових волокон – *юкстагломерулярний навколоклубочковий комплекс.* Клітини цього комплексу мають внутрішньо секреторну функцію – виділяють ренін, який бере участь в регуляції в регуляції артеріального тиску і ниркового кровообігу.

Загальна характеристика сечі. Хімічний склад сечі. Дослідження сечі дає інформацію про загальний стан організму, роботу його окремих систем і органів.

Сеча – це прозора рідина світло-жовтого кольору, вона містить в собі понад 200 речовин. Іноді в сечі трапляються нетипові для неї речовини (це зумовлено складом їжі та води, вживанням ліків тощо).

Питома вага сечі – 1,010-1,020, реакція (pH) – слабокисла, нейтральна або лужна. Вона залежить від виду їжі, яку вживає людина. При харчуванні переважно білковою їжею сеча слабокисла, або нейтральна, при вегетаріанській дієті – слаболужна.

Сеча складається з води (96%) і сухого залишку (4%). До сухого залишку входять неорганічні (1,5%) і органічні (2,5%) речовини. Із неорганічних речовин в сечі містяться солі Натрію, Калію, Кальцію, Магнію, Амонію та інших катіонів з соляною, фосфорною, сірчаною та іншими мінеральними кислотами. Кількість солей зазнає добових коливань. Частина катіонів знаходиться в складі органічних сполук. Мінеральний склад сечі змінюється при патології. Так, Кальцію в сечі більше при остеомаляції і аденомі прищитоподібної залози, Феруму – при фасціольозі, амонійних солей – при діабеті.

Органічні складові частини сечі представлені нітрогеновмісними і безазотистими сполуками. Нітрогеновмісні речовини сечі – продукти кінцевого обміну білків. Основою їх є сечовина або сечова кислота.

Аміак сечі представлений неорганічними й органічними солями: NH_4Cl, $(NH_4)_2SO_4$, $(COO)_2(NH_4)_2$ та ін.

Обов'язковим продуктом азотистого обміну (у рептилій і птахів – основним) є сечова кислота. Вона буває у вільній і зв'язаній формах. Вміст сечової кислоти та уратів зростає в сечі при подагрі, нефритах тощо.

Алантоїн – продукт азотистого обміну ссавців (крім людини і людиноподібних мавп), який утворюється в печінці з сечової кислоти.

Основними складовими частинами сечі є креатин і креатинін. Для характеристики м'язової діяльності введено креатиніновий коефіцієнт – кількість креатину і креатиніну в добовій сечі. Збільшення вмісту креатину в сечі спричинює креатинурію. Вона виникає при діабеті, міозитах тощо.

Гіпурова кислота – продукт нейтралізації бензойної кислоти гліцином. Синтезується в печінці, частково – в нирках за участю КоА. Вміст цієї кислоти зростає при гепатитах та отруєннях. Фенацетурова кислота – продукт нейтралізації фенілоцтової кислоти гліцином. У сечі містяться невелика кількість янтарної, мурашиної, оцтової, пропіонової, валеріанової та інших жирних кислот у вільному і зв'язаному стані.

Вміст амінокислот у сечі невеликий – до 1 г за добу. Глутамінова кислота і глутамін становлять близько 35% усіх амінокислот, гістидин – 20, аспарагінова кислота – 15, решта – до 30%. При гепатитах і нефритах кількість амінокислот в сечі зростає.

Концентрація індоксилсірчаної і скатоксилсірчаної кислот у сечі незначна. Вона зростає при запорах, атоніях, гнильних процесах у травному каналі. В сечі міститься незначна кількість інших нітрогеновмісних речовин: вітамінів, ферментів, гормонів, пігментів.

Безазотисті речовини сечі – щавлева, глюкуронова, янтарна кислоти та їх похідні, феноли та їхні естери, ароматичні гідроксикислоти, нейтральний

сульфур, безазотисті вітаміни та ін. Їх вміст не перевищує десятих часток процента.

Щавлева кислота виділяється у вигляді оксалатів. Кристали щавлевої кислоти мають форму поштових конвертів. При нефритах, гепатитах, сечокам'яній хворобі кількість кристалів завжди зростає.

У нейтралізації отруйних продуктів безпосередню участь бере глюкуронова кислота, яка виробляється в печінці, утворюючи парні сполуки.

Сеча містить феноли. З сірчаною кислотою вони утворюють парні сполуки – фенолсірчану і крезолсірчану кислоти Їх концентрація у сечі зростає при запорах, ентеритах, нефритах, перитонітах тощо.

Нейтральний сульфур знаходиться в сечі у вигляді цистину, таурину та інших сполук. Вміст нейтрального сульфуру в сечі – 50%, естерів – 30, сульфатів – 20% від її загальної маси. Кількість сульфуру зростає при опіках та захворюваннях шкіри.

У сечі можуть бути безазотисті вітаміни (особливо С), гормони (естрадіол, естріол, андростерон та ін.).

Осад сечі. В осаді кислої сечі є гідроурати Натрію і Калію, оксалат Кальцію, в осаді лужної сечі – ортофосфати Кальцію, Магнію і Амонію, урат Амонію, карбонат Кальцію, оксалат Кальцію тощо (рис. 5.13).

Рис. 5.13. Кристали оксалату кальцію в осадах сечі

В осад можуть потрапляти клітини епітелію сечовивідних шляхів, форменні елементи крові, мікроби та ін. Склад осадів змінюється при патологічних станах.

Патологічні складові частини сечі. При патологічних змінах з'являються речовини, яких зазвичай в сечі здорових організмів немає. Часто змінюється

типове співвідношення складових частин сечі між собою. З метою діагностики захворювань в сечі визначають вміст білків, вуглеводів, ацетонових тіл, жовчних і кров'яних пігментів тощо.

Поява в сечі білка називається *протеїнурією*, або *альбумінурією*. Розрізняють ниркову і позаниркову протеїнурію. Ниркова протеїнурія виникає при порушенні фільтраційних властивостей мальпігієвих клубочків. Вона може бути фізіологічною (при переохолодженні, підвищеному фізичному навантаженні, споживанні багатої на білки їжі) і патологічною (при нефритах, отруєнні запліснявілими продуктами, отрутами, при багатьох хворобах). При нирковій протеїнурії вміст білка в сечі не перевищує 1%. Позаниркова протеїнурія виникає при захворюваннях ниркових мисок, сечоводів, сечового міхура, сечівника.

Поява в сечі крові або гемоглобіну призводить до явищ *гематурії*, або *гемоглобінурії*. Кров у сечі може зявитись при сечокам'яній хворобі, чумі та ін. Причиною гемоглобінурії можуть бути різні отруєння.

На короткий час білок може з'явитися в сечі здорової людини при виконанні напруженої фізичної роботи. Така поява білка в сечі – результат тимчасової зміни проникності судинної системи нирок. З часом нормальна робота нирок відновлюється і білок у сечі таких осіб зникає.

Інколи в сечі зявляється глюкоза (*глюкозурія*). Розрізняють фізіологічну і патологічну глюкозурію. Фізіологічна спостерігається тоді, коли споживається їжа, багата на вуглеводи, при вагітності, патологічна – при цукровому діабеті, токсикозі тощо.

Кетонурія (ацетонурія) виникає при підвищеному вмісті в сечі кетонових тіл (ацетону, ацетооцтової і β-оксималяної кислот). Кетонурія виникає при порушеннях ліпідного і білкового обмінів, хворобах печінки тощо.

Білірубенія – підвищене виділення білірубіну з сечею При закупорці жовчних проток виникає механічна жовтяниця. При цьому жовчні пігменти і жовчні кислоти потрапляють у кров і сечу.

До патологічних складових сечі належать сечові камені й пісок. У здорових організмів солі зазвичай перебувають у розчиненому стані. При

сечокам’яній хворобі порушується синтез мукопротеїдів слизовою оболонкою сечовивідних шляхів, унаслідок чого з’являється сечовий пісок. Затримуючись в сечовивідних шляхах і агрегуючи, він сприяє виникненню сечових каменів. За хімічною природою їх поділяють на урати, оксалати, фосфати. Трапляються камені змішаного типу. У хворих на подагру камені складаються з уратів. Виникненню каменів сприяють різні інфекції, хронічне залуження сечі, порушення обміну гліцину тощо.

Загальна кількість сечі, яка виділяється людиною з сечового міхура за добу, коливається в широких межах і складає в середньому 1,5 л. При значному потовиділенні (в умовах високої температури навколишнього повітря) сечоутворення гальмується. Зменшується сечоутворення і в час сну, особливо, коли сон глибокий. Нічна сеча темніша за кольором і концентрацією, ніж денна.

Виділення сечі зменшується при багатьох хворобах - *олігурія*. В деяких випадках сеча не виділяється зовсім, наприклад при пухлинах, тоді настає *анурія*. При цукровому діабеті її кількість різко зростає, настає *поліурія.*

Жовтий колір сечі зумовлений пігментами, які утворюються з білірубіна жовчі в кишечнику, де він перетворюється в уробілін і урохром. Частково всмоктуючись з кишечнику в кров, ці пігменти згодом виділяються нирками. Поряд з цим нирки і самі здатні окиснювати продукти розпаду гемоглобіну, перетворюючи їх в пігменти сечі.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Хімічний склад нирок.
2. Обмін речовин в нирках.
3. Хімізм утворення сечі.
4. Патологічні складові частини сечі та стани, при яких вони виникають.

5.4. Біохімія печінки

Хімічний склад печінки. Печінка (hepar) – травна залоза хребетних тварин. Маса печінки ссавців звичайно складає 2-4% маси тіла тварини.

Печінка виконує в організмі тварин ряд важливих функцій: синтез і секреція жовчі; участь в обміні білків; участь в обміні ліпідів і вуглеводів

(зокрема, регулює рівень цукру в крові); участь у водному і мінеральному обміні; участь в синтезі вітамінів А, B_{12}; участь в інактивації гормонів; бар'єрна (детоксикаційна) функція; участь в процесах кровотворення; накопичення заліза.

Структурною і функціональною одиницею печінки є печінкова часточка, діаметр якої становить 0,5-2,0 мм. В печінці приблизно 500000 цих часточок. В свою чергу, печінкова часточка містить сотні тисяч печінкових клітин – гепатоцитів; діаметр їх 14-20 мкм. Між часточками міститься сполучна тканина з міжчасточковими артерією, веною і жовчною протокою. В центрі часточки проходить центральна вена. Між печінковими балками, утвореними гепатоцитами, розміщуються печінкові синусоїди, які побудовані з куперівських клітин.

У гепатоцитах і куперівських клітинах відбуваються основні біохімічні процеси, характерні для печінки.

Біля 70-75% печінки становить вода. Але маса печінки і її склад піддаються значним коливанням як в нормі, так і особливо при патологічних станах. Наприклад, при набряках кількість води може складати до 80% маси печінки, а при надлишковому відкладенні жиру кількість води в печінці може знизитися до 55%.

25-30% складає сухий залишок, який складається з органічних і мінеральних речовин. Більше половини сухого залишку печінки приходиться на долю білків, причому приблизно 90% з них – на долю глобулінів.

Печінка багата також на різні ферменти.

Біля 5% маси печінки складають ліпіди: нейтральні жири, фосфоліпіди, холестерин та інші. При явному ожирінні вміст ліпідів може досягати 20% від маси органу, а при жировому переродженні печінки кількість ліпідів в цьому органі може складати 50% від сирої маси.

Також печінка багата і на мінеральні речовини: Натрій, Калій, Хлор, Кальцій, Магній, Ферум, Цинк, Купрум, Манган тощо.

Для печінки характерний високий ступінь метаболізму. Печінка має високий ступінь регенерації. Так, у щурів і собак при видаленні 7% маси органу

печінка повністю відновлюється через 14-60 днів. Людям при частково або повністю не функціонуючій печінці проводять її трансплантацію.

Роль печінки в обміні речовин. Печінка відіграє центральну роль *в обміні білків.*

Вона виконує такі основні функції: синтез специфічних білків плазми: 100% альбумінів і 80% глобулінів крові; утворення сечовини і сечової кислоти; синтез холіну; перетворення амінокислот (їх дезамінування, переамінування, декарбоксилування); синтез протромбіну, фібриногену; утворення феритину; знешкодження аміаку та інших отруйних азотистих сполук.

Взагалі, на частку печінки припадає біля 13% усього білкового обміну. Всі білки печінки – резервні білки.

Роль печінки у вуглеводному обміні полягає перш за все в забезпеченні постійної концентрації глюкози в крові. Це досягається регуляцією співвідношення між синтезом і розпадом глікогену, який депонується в печінці. Завдяки синтезу глікогену в печінці з глюкози забезпечується підтримання нормативного рівня глюкози в крові в тих випадках, коли її вміст значно зменшується.

Поряд з утилізацією глюкози в печінці, природно, проходить і її утворення. Безпосереднім джерелом глюкози в печінці служить глікоген.

Розпад глікогену в печінці в основному проходить фосфоролітичним шляхом (рис. 5.14). Ці процеси регулюються нейрогуморальним шляхом з участю гіпофіза, гормонів наднирників і підшлункової залози. Так, інсулін сприяє біосинтезу глікогену з моноз, адреналін і глюкагон – його розпаду.

Крім того, в печінці розпадаються дисахариди.

Крім того, в печінці розпадаються дисахариди.

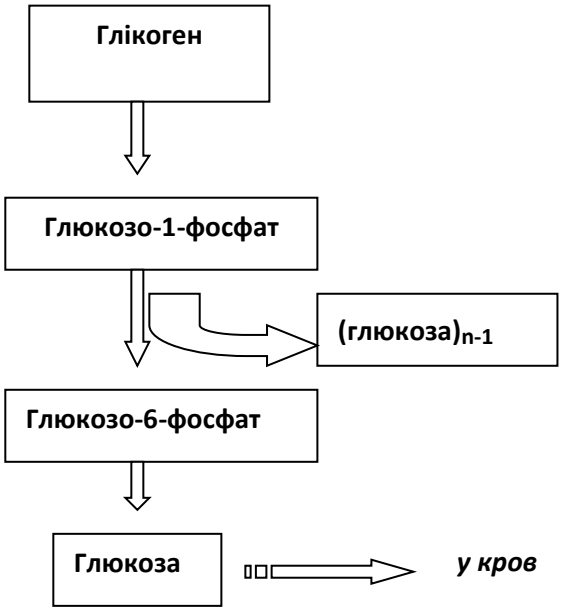


Рис. 5.14. Глікогеноліз у печінці

В печінці відбуваються досить важливі процеси, пов'язані *з обміном ліпідів:* синтез ВЖК; бета-окиснення жирних кислот; біосинтез фосфатидів; обмін стеринів і стеридів; ліполіз тригліцеридів; утворення кетонових (ацетонових) тіл.

Значення печінки *в мінеральному обміні:* в печінці утворюється ½-1/3 всієї лімфи організму; печінка бере участь у підтриманні кислотно-лужної рівноваги організму; в печінці біля 25% заліза депонується у вигляді феритину; в печінці нагромаджуються макро- і мікроелементи (Натрій, Калій, Хлор, Кальцій, Магній) у вигляді солей, кислот, йонів.

Відома роль печінки і *в обміні вітамінів.* Жиророзчинні вітаміни всмоктуються в тонкому кишечнику після їх емульгування жовчю. В тканинах печінки відкладаються вітаміни А, Е, С, B_1, B_2, B_6, РР, B_{12} та інші. З участю ферменту каротинази в печінці розщеплюються каротини їжі і утворюються вітаміни групи А.

Печінка бере активну участь *в обміні гормонів.* Тут відбувається їх інактивація – гормони білкової природи розщеплюються до амінокислот. Андрогени, естрогени, кортикостероїди утворюють в печінці глюкуроніди та ефіри із сірчаною кислотою.

Важливою функцією печінки є *детоксикаційна (знешкоджувальна).* Вона полягає в знешкодженні токсичних речовин, які утворились при гнитті білків. Шляхом синтезу сечовини печінкою знешкоджується 85% токсичного аміаку, з пуринових основ утворюється сечова кислота і алантоїн, з піримідинових основ – сечовина, щавлева кислота і вуглекислий газ, з амінокислоти тирозину утворюються фенол і крезол, з амінокислоти триптофану – індол і скатол, які в печінці знешкоджуються шляхом утворення парних (кон'югованих) сполук з сірчаною і глюкуроновою кислотами; бензойна кислота при з'єднанні з амінокислотою гліцином утворює гіпурову кислоту.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Особливості хімічного складу печінки.
2. Значення печінки для обміну органічних речовин.
3. Знешкоджувальна функція печінки.
4. Назвіть шляхи, якими в печінці перетворюються амінокислоти.
5. Назвіть вітамін, який синтезується в печінці з глюкози.

ТЕМА 6. БІОХІМІЯ СИРОВИНИ І ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

6.1. Біохімія м'ясної сировини

Хімічний склад м'яса. М'ясом звичайно називають скелетні м'язи тварин і, в залежності від виду тварини, розрізняють яловичину, телятину, свинину, оленину, баранину та ін.

М'ясо є одним з найцінніших продуктів харчування. Воно необхідне як матеріал для будови тканин організмом, синтезу і обміну речовин, як джерело енергії. М'ясо є основним білковим продуктом харчування та одним з важливих джерел надходження жирів в організм людини.

Харчова цінність м'ясопродуктів визначається хімічним складом – вмістом білків, жирів, вуглеводів, екстрактних речовин, вітамінів, макро- і мікроелементів; біологічною цінністю – набором і вмістом незамінних факторів харчування. Залежно від виду м'яса і його складу м'ясопродукти мають різну енергоємність – від 90 до 500 ккал на 100 г продукту.

Харчові речовини м'яса є джерелом біологічно необхідних, незамінних речовин. У середньому доросла людина протягом доби повинна отримувати з їжею 1-1,2 г білка на 1 кг маси тіла, що на рік становить – 20 кг повноцінного білка. З 20 амінокислот 8 є незамінними, на відміну від інших, вони не синтезуються в організмі. Тому 30% добового білкового раціону дорослої людини повинні складати повноцінні білки, які містять усі незамінні амінокислоти.

Хімічний склад м'яса залежить від виду, віку, породи, вгодованості, раціону та функціонального стану тварини на момент забою.

Вода. Масова частка вологи у м'ясі та м'ясопродуктах коливається в широких межах (від 40 до 80%). Розрізняють дві форми води:

- *вільну* – шари молекул води, які утримуються відносно слабко і є розчином різних речовин. У тканині її міститься 50-70%;

- *зв'язану.* Зв'язана вода утримується білком досить міцно. Вона характеризується низкою специфічних властивостей: нижчою точкою замерзання, меншим об'ємом, відсутністю здатності розчиняти речовини, які знаходяться в невеликих концентраціях (цукри, гліцерин, деякі солі). Зв'язана вода становить 6-15% маси тканини.

Білки. Білки м’яса містять всі незамінні амінокислоти (є повноцінними). За біологічною цінністю м’ясо як продукт харчування стоїть після молока і яйця.

Харчова перевага м'яса визначається насамперед наявністю в ньому білкових комплексів, які є пластичним і енергетичним матеріалом.

Білки, які входять до складу м'яса, непрості за складом, різноманітні за будовою, фізико-хімічними властивостями і біологічними функціями. Вони поділяються на три основні групи:

-саркоплазматичні (35% усіх м'язових білків). Сюди відносяться міоген, міоглобін, глобулін Х, міоальбумін;

-міофібрилярні (45% усіх м'язових білків). Представниками цієї групи є актин, міозин, актоміозин, тропоміозин;

-білки строми – колаген, еластин, ретикулін, білки нервової тканини. Ці білки – неповноцінні. Чим більше в м’ясі сполучної тканини (особливо у старих тварин), тим менша його харчова цінність.

Вміст незамінних амінокислот у м’ясі такий (% до білка): лізин – 7,8; лейцин – 7,5; треонін – 5,1; валін – 5,0; ізолейцин – 4,9; фенілаланін – 4,1; метіонін – 2,5 триптофан – 1,4.

Жири є другим компонентом, що кількісно переважає в складі м'яса. Жири м'яса представлені тригліцеридами, фосфоліпідами, стеринами.

На вміст жиру впливає стать і вік тварини. Додавання жирів у кормовий раціон тварин істотно впливає на склад жирних кислот не лише підшкірного, а й внутрішньом'язового жиру. М'ясо молодих тварин містить жир з великою кількістю поліненасичених жирних кислот – майже в 2 рази більшою порівняно з м'ясом дорослої худоби. На жирно-кислотний склад незначно впливає вгодованість тварин.

Особливістю жирно-кислотного складу жиру свинини є високий вміст ненасичених і низький вміст насичених жирних кислот.

Тваринні жири мають різний ступінь засвоюваності. *Чим нижча температура плавлення жиру, тим вища його засвоюваність. Жир свинини засвоюється організмом людини на 96-98%, яловичини – на 92-95%, баранини – на 80-90%.*

Фосфоліпіди відіграють важливу роль в обміні речовин м'язової та нервової тканин. Вони сприяють кращому всмоктуванню жиру, обмежують підвищення вмісту холестерину в крові та уповільнюють відкладення жиру в організмі.

Фосфоліпіди є пластичним матеріалом і входить до структурних елементів м'язового волокна – міофібрилів, клітинних мембран, прошарків гранул.

До складу міофібрил входять різні *гліцерофосфоліпіди*, багато з яких сприяють активності низки ферментів. Особливо великим вмістом фосфоліпідів відзначається саркоплазматичний ретикулум. Гліцерофосфоліпіди містять і сарколемні мембрани.

Інша частина ліпідів виконує роль резервного енергетичного матеріалу.

З гліцерофосфатидів м'язової тканини виділені холінгліцерофосфоліпіди, етанолгліцерофосфоліпіди, плазмогени, сфінгомієлін та ін. Вони містять більше ненасичених жирних кислот (65-75%), ніж гліцерофосфатиди інших тканин.

Із *стероїдів* у м'язовій тканині міститься *вільний і зв'язаний холестерин*. Характерною особливістю холестерин-білкових комплексів, виділених із м'язів ссавців, є міцний зв'язок холестерину з білком.

Холестерин є джерелом утворення важливих у біологічному відношенні речовин – статевих гормонів, жовчних кислот, вітаміну D. Відносний вміст холестерину в м'ясі невеликий, в ліпідах яловичини і баранини його більше (до 1,0%).

Вуглеводи. Містяться у всіх тканинах м’яса, особливо багато їх у м’язовій і сполучній тканинах. З моносахаридів переважає глюкоза, з полісахаридів – глікоген (належить до гомополісахаридів, ще називається тваринний крохмаль); гіалуронова кислота, хондроїтинсульфати (гетерополісахариди). У працюючих м’язах міститься в середньому 3,6% глікогену.

Вуглеводи містяться в тканинах тварин у значно меншій кількості, ніж білки і жири, і становлять не більше ніж 2% маси тканин. Проте вуглеводи утворюють той загальний фон, на якому розвиваються біохімічні процеси перетворення білків і жирів (дозрівання м'яса, формування смаку, аромату, консистенції та ін.).

Азотисті екстрактивні речовини. До цієї групи речовин належать *амінокислоти, пептиди* (2% від загальної маси); *карнозин* – 0,2-0,3% (природній дипептид, утворений з гістидигу і бета-аланіну); *ансерин* – 0,09-0,15% (природній дипептид, утворений з 1-метилгістидину і бета-аланіну); *карнітин* (вітамін B_T) – 0,02-0,5% – вітаміноподібна сполука; *фосфаген* (креатинфосфат – КрФ); *АТФ, АДФ, АМФ*; *путресцин і кадаверин* (трупні отрути), які утворюються під час гниття м’яса відповідно з орнітину і лізину. Азотисті екстрактні речовини беруть участь у створенні специфічного смаку та аромату м'яса.

Безазотисті екстрактивні речовини. До цієї групи речовин належать *вуглеводи та їх похідні; органічні кислоти* (молочна, гліколева, янтарна та ін.). Ці речовини поліпшують смак м'яса і впливають на його ніжність.

Вітаміни. М’ясо містить різні вітаміни: А, B_1, B_2, РР, С. Найбільше в ньому вітаміну А. У м’ясі курей багато вітамінів B_1, B_6, РР, B_3, Н, фолієвої кислоти, B_{12}.

Мінеральні речовини. Їх вміст в пісному м’ясі складає 1,0-1,5%.

Кількісний склад (% у сирій тканині): К – 0,254-0,398, Na – 0,065-0,156, Ca – 0,003-0,009, Mg – 0,022-0,028, P – 0,150-0,200, Cl – 0,07, Fe – 0,002-0,003, Zn – 0,003-0,005.

У незначній кількості містяться також Купрум, Барій, Бор, Силіцій, Плюмбум, Станум, Манган, Молібден, Нікол, Йод, Алюміній, Аргентум та інші.

Біосинтез складових частин м'яса. Біохімія та якість м’яса і м’ясних продуктів – наука про біохімічні процеси, що відбуваються в тканинах та органах сільськогосподарських тварин після забою і під час переробки.

В технологічних процесах, які відбуваються при виготовленні м’ясопродуктів, у більшості випадків лежать біохімічні та зв’язані з ними фізико-хімічні перетворення різних компонентів вихідної сировини. Біохімічні перетворення в ізольованих тканинах і органах можливо пояснити тільки порівнюючи з даними, які отримані при вивченні прижиттєвих біохімічних процесів. Якість готових м’ясних виробів залежить від змін колоїдних, структурних і біохімічних властивостей білків, вуглеводів, ліпідів, екстрактивних речовин, вітамінів та інших компонентів тканин у процесі технологічної переробки тваринної сировини. Біосинтез хімічних складових частин кожної з тканин, що входять до складу м’яса, відбувається за типовою схемою.

Білки сарколеми, саркоплазми і міофібрил синтезуються із амінокислот.

У процесі синтезу приймають участь ферменти з класу лігаз (синтетаз), підкласів пептидсинтетаз та амідсинтетаз та ін. Число лігаз відповідає кількості амінокислот, які використовуються для біосинтезу молекул білків. Число лігаз,

відомих на сьогодні, досягає 100. Коферментом багатьох лігаз є вітамін Н (біотин) та його похідні.

Особливе значення мають пептидсинтетази, під впливом яких з амінокислот синтезуються пептиди.

Біосинтез глікогену відбувається з глюкози, яка надійшла у м'язи. Цей процес – ферментативний і поетапний. Біосинтез глікогену з глюкози називається глікогенез (80% глікогену утворюється з глюкози).

1 етап – фосфорилування глюкози

гексокіназа

глюкоза + АТФ → глюкозо-6-фосфат.

2 етап – ізомеризація

фосфоглюкомутаза

глюкозо-6-фосфат → глюкозо-1-фосфат

3 етап – конденсація

На цьому етапі під впливом ферменту фосфорилази глюкозо-1-фосфат конденсується і утворюється молекула глікогену.

фосфорилаза

глюкозо-1-фосфат → $(C_6H_{10}O_5)_n$

20% глікогену синтезується з речовин, які не є глюкозою (амінокислот, кетокислот, оксикислот, низькомолекулярних жирних кислот). Цей процес називається гліконеогенез.

Джерелом утворення *вищих жирних кислот, нейтрального жиру, стеринів, стеридів* є активна оцтова кислота (ацетил Ко-А).

Процеси синтезу ліпідів проходять з участю коферменту А (КоА). КоА містить у своєму складі сульфгідрильну (тіолову) групу SH. Це надає йому можливості легко взаємодіяти з жирними кислотами, утворюючи ацилпохідні. Тому КоА ще називають коферментом ацилування або ацетилування.

На синтез білків, ліпідів, вуглеводів, що містяться в м'ясі, впливають різні гормони. Їх дія на процеси синтезу пов'язана із зміною швидкості і напрямку ферментативних реакцій.

Так, наявність потрібної концентрації *інсуліну* забезпечує переважання синтезу білків і ліпідів над їх розщепленням, відкладання в тканинах глікогену. Ін'єкція відгодівельним свиням інсуліну в дозі 1 ІО (0,04082 мг препарату на 1 кг живої маси) підвищує добовий приріст маси на 26%.

Андрогени стимулюють біосинтез білку в м'язовій тканині.

Соматотропін активує діяльність ДНК-полімераз. У клітинах зростає біосинтез і-РНК та р-РНК. Підвищується проникність для амінокислот та інтенсивність біосинтезу білків, посилюється біосинтез глікогену та мобілізація жирів із жирових депо.

Глікокортикоїди спричинюють зростання вмісту глікогену в м'язах, стимулюють процеси гліконеогенезу; гальмують синтез білків і збільшують їх розпад.

Адреналін і норадреналін (гормони мозкового шару наднирників) збільшують швидкість розщеплення в тканинах м'язів білків, активують фермент ліпазу, сприяючи розщепленню жирів.

Таким чином, гормони мають різнобічний вплив на багато які реакції обміну білків, вуглеводів, ліпідів.

Біохімічні процеси в мясі після забою тварин. Усі біохімічні процеси, які проходять в м'ясі після забою тварин, можна умовно поділити на три послідовні фази:

-*заклякання;*

-*дозрівання;*

-*глибокий автоліз.*

Заклякання триває протягом 1-2 діб після забою, після чого м'язи розслабляються і набувають свого початкового вигляду.

В ході заклякання змінюється pH:

-у живому м'ясі pH=7,3-7,5;

-після забою – нейтральне;

-через кілька годин після забою – 5,3-5,5.

Причиною зміни pH є розпад глюкози і глікогену до молочної кислоти в ході гліколізу.

У перші 20-50 хвилин після забою температура м’яса зростає на 0,9-2,0°С, що є результатом порушення спряження між клітинним диханням і окислювальним фосфорилуванням.

Після заклякання в м’ясі відбувається: різке зменшення вмісту органічного фосфору; збільшення кількості неорганічного фосфору; поступове зменшення і зникнення запасу АТФ і креатинфосфату.

Дозрівання м’яса – характеризується поліпшенням смакових якостей м’яса, появою специфічного приємного смаку і аромату, соковитості і ніжності. Дозрівання м’яса проходить по різному при різних температурах:

-при 2-3°С м’ясо дозріває через 12-15 діб;

-при 12°С – на п’яту добу;

-при 18°С – на другу;

-при 29°С – через кілька годин.

Найкраще м’ясо дозріває при 0-4°С в камерах охолодження.

Процеси, які відбуваються при дозріванні м’яса: глікогеноліз; дефосфорилування нуклеотидів, креатинфосфату, гексозофосфатів, що спричинює збільшення вмісту неорганічного фосфору; зростання вмісту молочної і ортофосфорної кислот, в результаті чого середовище стає кислим (5,6-5,8). За рахунок кислот, які «розпушують» сполучнотканинні прошарки, консистенція м’яса стає ніжною; гідроліз білків до амінокислот і простетичних груп. Вміст вільних амінокислот у м’ясі поступово зростає, досягаючи максимуму. Утворюється рідка фракція – м’ясний сік, що рівномірно просочує тканини м’яса. Він містить: води – 89,4%; білків – 6,4%; екстрактивних речовин – 3%; мінеральних сполук – 1,2%.

Глибокий автоліз – спостерігається при тривалому зберіганні м’яса. Тут розрізняють два явища – *«загар» м’яса і гниття м’яса. «Загар» м’яса* – зміни, що виникають в м’ясі в процесі автолізу і призводять до зменшення або втрати придатності його для харчових цілей.

При цьому відбуваються такі зміни: колір м’яса стає сіро-червоним або сіро-коричневим; запах – задушливо-кислим; консистенція – пухкою; реакція – кислою; підвищення температури (більше 37°С); розщеплення глікогену і

накопичення продуктів гліколізу; розкладання білків з виділенням сірковмісних амінокислот, з яких утворюється сірководень. Для запобігання «загару» м'ясо треба зберігати у прохолодному приміщенні з хорошою вентиляцією.

Гниття м'яса – це розкладання органічних речовин м'яса під впливом ферментів мікрофлори. Процеси, які проходять при цьому: при розкладанні білків утворюються путресцин, кадаверин, індол, скатол, аміак, феноли тощо; при розкладанні жирів утворюються низькі леткі жирні кислоти (масляна, капронова та ін.), альдегіди, оксикислоти, які мають неприємний запах і знижують якість м'яса, роблячи його непридатним для споживання.

Способи запобігання гниттю м'яса: брати для забою клінічно здорових тварин; перед забоєм забезпечити тваринам достатній відпочинок; добре очищати шкури і копита; правильно знекровлювати тушу; застосовувати швидке охолодження; дотримуватись правил дозрівання і зберігання м'яса.

Для повноцінного збереження м'яса використовують слідуючі методи: охолодження; консервування; соління; заморожування; додавання інгібіторів; ультрафіолетове опромінення; обробка озоном.

Біохімічні процеси під час термообробки. Теплова обробка (60–180°С) є одним із надійних методів консервування м'яса і м'ясопродуктів. При цьому м'ясо стає більш стійким до мікробного ураження, з'являються нові корисні смакові якості, консистенція стає твердішою, а поживні речовини краще засвоюються організмом.

Відповідно до поставленої мети для виробництва м'ясопродуктів використовують різні способи теплової обробки. Поверхнева теплова обробка включає ошпарювання, обпалювання та обсмажування. Нагрівання з метою досягнення певного ступеня готовності – це бланшування, варіння, запікання, смаження.

З метою запобігання мікробіального псування продукту (консервація) застосовують пастеризацію та стерилізацію.

Таблиця 6.1

Органолептичні показники м’яса (тушок) кролів різного ступеня свіжості

Показники	Характерні ознаки м’яса (тушок) кролів		
	Свіжі	Сумнівної свіжості	Несвіжі
Зовнішній вигляд і колір:			
Поверхні тушки	Має кірочку підсихання блідо-рожевого кольору	Місцями зволожена, ледь клейка та потемніла	Покрита слизом сірувато-коричневого кольору.
Покривної та внутрішньої жирової тканини	Жовтувато - білого кольору	Жовтувато - білого кольору. У розморожених тушок з червонуватим відтінком	Сірувато-білого кольору. У розморожених тушок з коричневим відтінком
Серозної оболонки черевної порожнини	Волога , блискуча	Без блиску, клейка, можлива наявність невеликої кількості слизу і плісняви.	Без блиску, покрита слизом і пліснявою
М’язи на розрізі	Злегка вологі, не залишають вологої плями на фільтрувальному папері, блідо-рожевого кольору з червонуватим відтінком	Вологі, залишають вологу пляму на папері, злегка клейкі, темно-червоного кольору	Вологі, залишають вологу пляму на фільтрувальному папері, клейкі, червоно-коричневого кольору

продовження таблиці 6.1

Консистенція	М’язи щільні, пружні при надавлюванні пальцем; Ямка, що утворилася, швидко вирівнюється жир щільний	Щільність і пружність м’язів не виражена; ямка що утворилася при надавлюванні пальцем, вирівнюється повільно (протягом хвилини), жир м’який, у розморожених тушок ледь розпушений	М’язи дряблі; ямка що утворилася при надавлюванні пальцем, не вирівнюється, жир м’який, у розморожених тушок – пухкий, з ознаками осалювання
Запах	Специфічний властивий свіжому м’ясу кролів	Затхлий, найбільш виражений у черевній порожнині	Гнилісний, найбільш виражений у черевній порожнині
Прозорість і аромат бульйону	Прозорий, ароматний	Прозорий або каламутний, з легким неприємним запахом	Каламутний, з великою кількістю пластівців, з різким неприємним запахом.

Таблиця 6.2

Органолептичні показники м’яса (тушок) птиці різного ступеня свіжості

Показники	Характерні ознаки м’яса (тушок) кролів		
	Свіжих	Сумнівної свіжості	Несвіжих
Зовнішній вигляд і колір дзьоба:	Глянсовий	Без глянсу	Без глянсу
Слизової оболонки	Блискуча, блідо-рожевого кольору, дещо зволожена	Без блиску, рожево-сірого кольору, ледь покрита слизом. Можлива наявність плісняви	Без блиску, сірого кольору , покрита слизом і пліснявою.
Очного яблука	Випукле, роговиця блискуча	Не випукле,роговиця без блиску	«Впале», роговиця без блиску
Поверхні тушки	Суха, білувато-жовтого кольору з рожевим відтінком, у нежирних тушок жовтувато-сірого кольору з червонуватим відтінком, у худих – сірого кольору з синюшним відтінком	Місцями волога, клейка, під крилами, в паху і в складках шкіри біловато-жовтого кольору з сірим відтінком	Покрита слизом, особливо під крилами, в паху і в складках шкіри, біловато-жовтого кольору з сірим відтінком, місцями з темними або зеленуватими плямами.
Підшкірної та внутрішньої жирової тканини	Блідо-жовтого або жовтого кольору	Блідо-жовтого або жовтого кольору	Блідо-жовтого кольору, а внутрішня жовтувато-білого кольору з сірим відтінком

продовження таблиці 6.2

М’язи на розрізі	Ледь вологі, не залишають вологої плями на фільтрувальному папері, у курей та індичок блідо-рожевого кольору	Вологі, залишають пляму на фільтрувальному папері, злегка клейкі, дещо темніші порівняно з свіжими тушками	Вологі, залишають пляму на фільтрувальному папері, клейкі, темніші ніж у свіжих тушок
Консистенція	М’язи щільні, пружні, ямка, що утворилася при надавлюванні пальцем, швидко вирівнюється	М’язи менш щільні, менш пружні, ніж у свіжих, ямка що утворилася при надавлюванні пальцем, вирівнюється повільно (протягом хвилини)	М’язи дряблі, ямка що утворилася при надавлюванні пальцем, не вирівнюється
Запах	Специфічний, властивий свіжому м’ясу птиці	Затхлий у грудо-черевній порожнині	Гнилісний з поверхні тушки і в товщі м’язів, найбільше виражений у грудо-черевній порожнині.
Прозорість і аромат бульйону	Прозорий, ароматний	Прозорий або трохи каламутний з ледь неприємним запахом	Каламутний з великою кількістю пластівців і різким неприємним запахом.

Для виділення із сировини окремих складових частин проводять витоплювання жиру, виварювання желатину та клею тощо. Після теплової обробки змінюються фізико-хімічні властивості білків. Нагрівання призводить до втрати білками четвертинної, третинної і вторинної структур. Білки денатурують, втрачають гідрофільність, зникають сольватні оболонки, різко знижується розчинність їх у воді. Денатурація білків м'яса починається вже за температури 30–35°С. З усіх білків м'яса найбільше чутливим до підвищення температури є міозин – його молекули денатурують за температури 45°С.

За температури 60-65°С змінюють структуру понад 90% внутрішньоклітинних протеїдів, еластин зазнає денатурації за температури 125°С. За руйнування міоглобіну утворюється простий білок глобін та простетична група (гем). Надалі гем під впливом підвищеної температури перетворюється на коричневий пігмент гемохром, який адсорбується на молекулі глобіну. Частина молекул гемохрому окиснюється до пігменту гематину, у результаті чого двовалентне залізо (Fe^{2+}) переходить у тривалентне (Fe^{3+}). Суміш гемохрому і гематину надає м'ясу сіро-коричневого забарвлення. Збереження типового червоного кольору м'яса досягають обробкою його перед засолом невеликими, нешкідливими для здоров'я людини і тварин, дозами нітрату калію (калійною селітрою), а за взаємодії останнього з міоглобіном виникає нітрозоміоглобін який за нагрівання перетворюється на денатурований глобін і нітрозоміохромоген, що зумовлює збереження м'ясом червоного забарвлення.

Біохімічні зміни у м'ясі і м'ясопродуктах у процесі варіння. Під час варіння м'яса змінюються фізико-хімічні властивості та фізичний стан основного білка сполучної тканини – колагену. За термічної обробки колаген гідролітично розщеплюється до проміжних продуктів розпаду – глютину і глютоз, що призводить до послаблення водневих зв'язків, розпушення сполучнотканинної строми, зменшення жорсткості м'яса й підвищення його перетравлювання та засвоєння у тонкому відділі кишечнику. Нагрівання м'яса до високих температур (понад 100°С), особливо за стерилізації, призводить до погіршення окремих його показників, особливо перетравлювання білків. Під час варіння

м’яса руйнуються поверхневі клітинні мембрани ліпоцитів (жирових клітин), краплі жиру потрапляють у бульйон, утворюючи емульсію. За нагрівання м’яса вище 100°С настає часткове гідролітичне розщеплення молекул нейтрального жиру з утворенням гліцеролу і високомолекулярних жирних кислот. Ненасичені жирні кислоти (олеїнова, лінолева, ліноленова) у таких умовах можуть окиснюватися з утворенням оксикислот та інших продуктів окиснення (альдегідокислот, кетокислот, альдегідів, кетонів), що надає харчовим продуктам неприємного запаху і гіркого смаку. Під час варіння м’яса і м’ясопродуктів звільняються леткі жирні кислоти, можлива полімеризація, прискорюється окисне псування жирів за зберігання (особливо свинини). При цьому утворюється бульйон, що містить білки, жири, мінеральні речовини, азотовмісні та безазотисті екстрактивні речовини, вітаміни А та Е, а за короткочасної термообробки ще й вітаміни B_1, С, D. Вміст цих сполук залежить від способів варіння. Коли м’ясо покласти варити у холодну воду, одержують концентрований бульйон і малоцінне за харчовими якостями м’ясо. Якщо м’ясо переносять у киплячу воду, відбувається швидка коагуляція білків поверхневого шару, виділення у бульйон екстрактивних сполук зменшиться, але одержують соковите і смачне м’ясо та малоконцентрований бульйон. Сухе нагрівання м’яса зумовлює розпад вітамінів та інших речовин, зокрема пептидів й амінокислот. У формуванні запаху та смаку м’яса беруть участь сполуки різної хімічної природи. Важлива роль в цьому належить глутаміновій кислоті та її солям, вміст яких у м’ясі навіть у незначних кількостях (0,03%) надає продукту смак. Глутамінова кислота утворюється за нагрівання у слаболужному середовищі із глутаміну, що міститься у м’язовій тканині: Суттєве значення у формуванні запаху та аромату має інозинова кислота, креатин, креатинін, меркаптани, що утворюються із сірковмісних амінокислот, леткі жирні кислоти та інші карбонільні сполуки. Внаслідок реакції меланоїдиноутворення (особливо під час смаження) синтезуються темно-коричневі продукти – меланоїдини. Теплова обробка м’яса призводить до зменшення вмісту вітамінів, особливо водорозчинних, за рахунок їх хімічних змін. Так, залежно від умов обробки м’яса втрата вітаміну B_1 складає 30-60%,

B_2 та B_3 – 15-30%, B_5 – 10-35%, B_6 – 30-60 %. Зміна структурно-механічних властивостей м'ясопродуктів під час нагрівання залежить від температури і тривалості нагрівання, вмісту сполучної тканини, природної особливості, віку тварин, ступенів подрібненості, зневоднення та розвитку автолітичних процесів, величини pH, наявності солей тощо.

Біохімічні зміни у м'ясі і м'ясопродуктах у процесі копчення. Копчення – процес обробки харчових продуктів димом, що утворюється за неповного згорання деревини. Нині застосовують копчення холодне (18-22ºС), гаряче (60-100ºС), мокре, бездимне, електрокопчення тощо. Коптильний дим є аерозолем (суміш найдрібніших твердих і рідких частинок, завислих у газовому середовищі). У ньому є гази: N_2, H_2, CO, CH_4, C_2H_2, а також органічні сполуки, що за певної температури перебувають у стані пари. До складу коптильного диму входить понад 200 хімічних сполук різних класів речовин, зокрема низькомолекулярні жирні кислоти: мурашина (HCOOH), ацетатна (CH_3COOH), пропіонова (C_2H_5COOH), масляна (C_3H_7COOH), валеріанова (C_4H_9COOH), капронова ($C_5H_{11}COOH$); кетокарбонові кислоти: α-кетоглутарова (HOOC–CH_2–CH_2–CO–COOH), левулінова (HOOC–CH_2–CH_2–CO–CH_3); двоосновні кислоти: малонова (HOOC–CH_2–COOH), бурштинова (HOOC–CH_2–CH_2–COOH), фумарова (HOOC–CH=CH–COOH); ароматичні кислоти: ванілінова та бузкова. У димі наявні альдегіди: аліфатичні (мурашиний, ацетатний, пропіоновий), ароматичні (бензальдегід, бузковий альдегід) та гетероциклічні (фурфурол, метилфурфурол).

Дим містить кетони, зокрема, ацетон (CH_3–CO–CH_3) та метилпропілкетон (CH_3–CO–CH_2–CH_2–CH3), а також спирти (CH_3OH, $C_5H_{11}OH$). Запах диму надають одноатомні (фенол, ванілінова кислота, бузкова кислота бензальдегід, бузковий альдегід, фурфурол, метил фурфурол, крезол), двоатомні (пірокатехін, гідрохінон, гваякол) та триатомні феноли (пірогалол, флороглюцин). До складу диму входять аміни: метиламін (CH_3NH_2), етиламін ($C_2H_5NH_2$), бутиламін ($C_4H_9NH_2$), а також етери, естери, смолянисті речовини (фенолформальдегідні смоли) та арени (бензен, толуен, фенатрен тощо).

Співвідношення перерахованих сполук може змінюватися залежно від виду деревини та режиму згорання. Якість готових виробів залежить від швидкості осадження і глибини проникнення часточок диму. При цьому змінюються складові частини продукту за рахунок складних взаємозв'язаних хімічних, фізико-хімічних та біохімічних процесів, що впливають на консистенцію, органолептичні властивості та стійкість під час зберігання. Копчений продукт значно зневоднюється (на 7-20%) за рахунок випаровування вологи. За гарячого копчення проходить часткова теплова денатурація білків і від'єднання функціональних груп (–SH, –COOH, $–NH_2$, –OH тощо), які взаємодіють з леткими речовинами диму, що спричинює незворотну дегідратацію, коагуляцію частини білків саркоплазми та міофібрил, у зв'язку з чим продукт краще ущільнюється. Під час гарячого копчення (до 40-50ºС) активізуються автолітичні процеси, що каталізуються мікробіальними ензимами. При цьому відбувається гідролітичний розпад білків (протеоліз), ліпідів (ліполіз), а також ряд інших ферментативних процесів, які були пригнічені під час соління.

Тривале холодне копчення супроводжується глибшою ферментацією, відбувається гомогенізація тканин, консистенція м'яса стає м'якою та ніжною. Компоненти диму мають різні відтінки запаху, що створює специфічний "букет" смаку та запаху копченого продукту. Під час копчення різні продукти (свинина, яловичина, риба) набувають смаку та аромату, властивих кожному із них.

Наслідком копчення є забарвлення поверхні виробу у коричневі відтінки. Хімізм утворення кольору зумовлений осадженням на поверхні продукту фарбуючих компонентів, основними з яких є смоли, вуглеводні та фенольні фракції. Стійкість копчених продуктів до дії мікроорганізмів пов'язана із бактерицидною дією коптильних речовин (формальдегіду, фенолу тощо). Феноли також проявляють антиокиснювальну дію, що гальмує процес псування жирів.

Основною вимогою до коптильних речовин є їх безпечність і нешкідливість для організму людини та відсутність пригнічувальної дії на ферменти травлення.

Окремі компоненти диму (органічні кислоти, карбонільні сполуки) у тих кількостях, в яких вони накопичуються у копчених продуктах, нешкідливі для організму людини. Водночас накопичення формальдегіду є небажаним, оскільки він впливає на білкову структуру травних ферментів, знижуючи їх активність. Певною токсичною дією характеризуються феноли, які здатні знешкоджуватися у печінці та виводитися з організму у вигляді парних сполук із сульфатною та глюкуроновою кислотами. У разі неправильного процесу копчення у димі може бути наявним 3,4-бензопірен, який має канцерогенну дію.

Продукти, що підлягають копченню, необхідно захищати покриттям (ковбасні оболонки, шкіра) з тим, щоб леткі речовини диму адсорбувалися на оболонці, а не на продукті.

Біохімічні зміни у м'ясі м'ясопродуктах у процесі сушіння. Сушіння – процес видалення вільної вологи без руйнування клітинної мембрани та без змін енергетичної цінності продукту за певних параметрів повітря. На сушіння направляють ковбаси (напівкопчені, варено-копчені та сирокопчені) та копченості. Сушіння є одним із способів консервації. Висушені продукти мають значно меншу масу і містять ту саму кількість поживних речовин. Проте у процесі сушіння разом з вологою видаляються леткі ароматичні та смакові речовини, можлива хімічна взаємодія частини продукту з киснем повітря, зміни за дії підвищеної температури.

Обмін речовин у живих організмах відбувається у водному середовищі. Нестача води уповільнює чи майже припиняє розвиток мікроорганізмів. Мінімальний вміст вологи у білкових продуктах, за якого можливий розвиток бактерій, становить 25-30%, проте плісняві гриби здатні розмножуватися за вмісту вологи близько 15%.

Сушіння не можна використовувати для стерилізації та знешкодження харчових продуктів, які уражені патогенною мікрофлорою. У м'ясній промисловості застосовують сушильні камери, які оснащені кондиціонерами для підтримки необхідних параметрів температури (12ºС) та відносної вологості (75%). За сушіння сирих продуктів відбуваються процеси, що

активуються тканинними ферментами (дозрівання) і мікрофлори, та структурування. Процес сушіння відбувається у декілька етапів: 1 – пароутворення на поверхні та всередині продукту; 2 – перенесення водяної пари у зовнішнє середовище через межуючий шар; 3 – перенесення вологи від центру до поверхні. Ці явища відбуваються за рахунок різниці парціального тиску водяної пари на поверхні продукту та у навколишньому середовищі. При цьому разом із вологою переносяться водорозчинні речовини. За сушіння сирих продуктів продовжується розпочате раніше (соління, холодне копчення) руйнування клітинних структур м'яса за рахунок ферментативного гідролізу білків (за дії тканинних і мікробіальних ензимів). Близько 15% білків розщеплюються до поліпептидів та низькомолекулярних азотовмісних сполук. Ці зміни зумовлюють підвищення гомогенності фаршу та формування характерної однорідної структури. Поряд з цим проходить протилежно направлений процес вторинного структурування за рахунок агрегації білків на фоні зниження pH фаршу (діяльність молочнокислих бактерій) та його зневоднення. Вторинне структурування зумовлює зниження ступеня перетравленості білків травними ферментами.

Специфічний смак і аромат сирокопчених ковбас пояснюється, головним чином, наявністю карбонільних ($R_1–CO–R_2$) й сульфурумісних сполук (R–SH), органічних кислот (R–COOH), спиртів (R–OH), етерів ($R_1–O–R_2$) та естерів ($R_1–CO–O–R_2$). Певну роль відіграє молочна кислота ($CH_3–CH(OH)–COOH$) як продукт ферментативного перетворення вуглеводів, а також пептиди, вільні амінокислоти та продукти гідролізу жиру. У процесі тривалого сушіння продовжується розвиток мікроорганізмів, що у поєднанні з іншими компонентами забезпечує підвищену стійкість продукту до мікробіального псування.

Біохімічні основи первинної переробки продукції тваринництва. В основі первинної переробки продуктів тваринництва лежать певні біохімічні процеси, іцо зумовлюють смак, колір, запах, а також тривале зберігання продукції тваринництва. А це дає змогу зберігати, використовувати, транспортувати і переробляти продукцію, не втрачаючи або частково втрачаючи її смакові й

поживні якості. Основними способами збереження продукції тваринництва є заморожування, соління і копчення та приготування м'ясних консервів.

Заморожування полягає у якнайшвидшому заморожуванні м'яса і м'ясопродуктів до температури -14-(-17)°С, що дає змогу зберігати їх кілька місяців.

Соління м'яса дуже давній спосіб його консервування. Недолік – втрата білків і екстрактивних речовин під час соління або вимочування. Засолене м'ясо дещо втрачає свої смакові якості. Обов'язкова умова соління – низька температура в приміщенні -1-(-5)°С.

Суть цього способу полягає в дифузії, що відбувається завдяки різниці осмотичного тиску в м'ясі і розсолі. При цьому сіль та інші складові посоленої суміші проникають у м'ясо, а з м'яса виходить вода й мінеральні речовини. В кінці посолу наступає рівність осмотичного тиску в м'ясі і розсолі.

Наявність солі в м'ясі підвищує осмотичний тиск і тим самим припиняє розвиток в ньому мікрофлори, порушуючи в бактеріальних клітинах обмін речовин, в результаті їх зневоднення. Є два основні способи соління – сухий і мокрий.

Сухий спосіб: великі шматки (1-1,2 кг) м'яса натирають сумішшю солі і селітри (100 : 1,5) і кладуть на дно посудини, де вже насипана сіль шаром 1 см. Верхній шар м'яса засипають шаром солі 2 см. За температури +10°С м'ясо зберігається 6 місяців.

Мокрий спосіб: шматки м'яса і сала заливають розчином і зверху кладуть дерев'яний круг з тягарем. Склад розчину: на 100 л води – 29 кг солі і 0,5 кг селітри. За температури +3 - +6 °С м'ясо просолюється 20 днів.

Копчення – це спосіб хімічного консервування. Просолені шматки м'яса просочуються димом, що утворюється під час згоряння деревини листяних порід: дуба, клена, ясена, яблуні, черешні.

Залежно від температури димових газів можна отримати продукт гарячого чи холодного копчення.

Продукт гарячого копчення утворюється за температури димових газів +45-+50 °С протягом 1-3 днів. Такий продукт довго зберігатися не може (5-10 днів).

Копчення надає м’ясним продуктам специфічного смаку, аромату, кольору та значно подовжує строк їх зберігання. Завдяки копченню (і подальшому сушінню) ми використовуємо практично сирі м’ясні продукти, що вносить в раціон харчування певну різноманітність.

При копченні м’ясо просочується коптильними речовинами, що утворюються при неповному згорянні деревини листяних порід. Склад диму залежить від способу його отримання, температури горіння деревини, густоти диму і швидкості його змішування з холодним повітрям.

Продукт холодного копчення отримують за температури димових газів +18-+22 °С, за 5-8 діб просочування (копчення). Цей продукт стійкіший до псування і може зберігатися 20-30 діб, оскільки в ньому мало вологи.

Зберігають отримані шляхом гарячого копченя м’ясні продукти при температурі від +2 - +5 °С не більше 10 днів.

Біохімічні дослідження ковбасних виробів і продуктів із свинини, баранини, яловичини та м`яса інших видів забійних тварин.

Визначення pH. Вода, що входить до складу м'яса і м'ясопродуктів, пов'язана різною міцністю з їх компонентами і структурними утвореннями. Найвищою енергією зв'язку володіє гідратаційна волога. Вона утворює за рахунок водневих зв'язків і взаємодії поляризованих груп макромолекул з диполями води гідратні оболонки (таблиця 6.3).

Крім гідратаційної вологи у м'ясних (як і в інших) продуктах міститься так звана вільна волога, яка утримується за рахунок осмотичного тиску і заповнення мікро- та макрокапілярів.

Найміцніше утримується волога, яка міститься в системі мікрокапілярів.

Таблиця 6.3.

Рівень pH ковбасних виробів

Ковбаси	Категорії свіжості ковбас		
	Свіжа	Підозрілої свіжості	Несвіжа
Варені	5,0-6,8	6,9-7,0	7,1 і більше
Копчені	6,2-6,7	6,8-7,0	-"-
Ліверні	6,2-6,6	6,7-7,0	-"-

Здатність вироблених з м'яса продуктів зв'язувати вологу залежить від багатьох факторів, насамперед від величини pH. Залежно від сукупності фізико-хімічних і механічних факторів дисперсні системи поділяють на три основних типи: коагуляційні, конденсаційні і кристалізаційні. Можливе утворення змішаних структур. Такий вид м'ясної системи, як ковбасний фарш, за своєю структурою і структурно-механічними властивостями може бути віднесений до коагуляційних структур.

Конформація (подібність) і наступна міжмолекулярна агрегація (стан) м'язових білків, розчинених у дисперсному середовищі, у результаті дії тепла призводять до виникнення суцільного просторового каркасу, який надає твердості всій системі, в результаті чого структура і властивості фаршу наближаються до конденсаційних.

Конденсаційні структури більш міцні, оскільки вони утворені переважно водневими зв'язками при безпосередньому зчепленні структурних елементів і після руйнування не відновлюються.

Ступінь деструкції тканин, агрегатний стан, дисперсність і характер взаємодії між дисперсними фазами визначають поведінку м'ясних систем у процесі технологічної обробки і впливають на вихід, соковитість і консистенцію готових м'ясних виробів.

Таким чином, від величини pH залежить багато властивостей м'ясопродуктів і тому важливо досить точно вимірювати величину цього показника. Величину pH визначають колориметричним або потенціометричним методом.

Колориметричний або індикаторний метод. Цей метод базується на властивості індикаторів змінювати своє забарвлення залежно від pH розчину. Індикатори являють собою слабкі кислоти або основи, у яких дисоційована або недисоційована форма має різне забарвлення. Значення pH, у межах яких індикатор змінює своє забарвлення, складають інтервал, чи зону, зміни індикатора. Ці зони можуть перебувати як у кислому, так і в лужному середовищі, а іноді захоплюють обидві зони.

Найпростіше визначити pH колориметричним методом використовуючи універсальний індикатор, який складається з суміші індикаторів: 0,1 метиленового червоного, 0,2 г бромтимолового синього і 0,4 фенолфталеїну, розчинених у 500 мл етанолу.

Спочатку готують водну витяжку 1:4. Для цього зважують 20 г фаршу, звільненого від шпику, дрібно нарізають його ножицями, розтирають у фарфоровій ступці, в яку додають трохи води із загальної кількості 80 мл. Вміст ступки переносять у плоскодонну колбу, ступку промивають дистильованою водою, яка залишилася, після чого її зливають в ту ж колбу. Колбу закривають корком, вміст струшують 3 хв., потім 2 хв. відстоюють і 2 хв. знову збовтують. Витяжку фільтрують через три шари марлі, а потім через паперовий фільтр.

Порядок визначення pH. 1 мл фільтрату (витяжки) вносять у заглиблення фарфорової пластинки або у фарфорову чашечку і додають 3-5 крапель універсального індикатора. Одержане забарвлення порівнюють з даними таблиці 6.4, в якій наведено забарвлення індикатора залежно від величини pH.

Для більш точного визначення pH колориметричним методом краще використати набір Міхаеліса зі стандартними однокольоровими розчинами в пробірках і компаратор Вальполя.

Спочатку орієнтовно визначають pH для вибору індикатора. Для цього в фарфорову чашку наливають 1-2 мл витяжки 1:4 і додають 1-2 краплі

універсального індикатора. Колір, що одержаний при додаванні індикатора, порівнюють з кольоровою шкалою, яка є в наборі. При кислій реакції середовища беруть індикатор паранітрофенол, при нейтральній або лужній – метанітрофенол.

Таблиця 6.4

Забарвлення універсального індикатора залежно від величини pH

pH	Колір	pH	Колір
4,0	Червоний	7,5	Зелений
4,5	Оранжево-червоний	8,0	Зелено-жовтий
5,0	Оранжевий	8,5	Синій
5,5	Оранжево-жовтий	9,0	Сіро-фіолетовий
6,0	Жовтий	9,5	Синьо-фіолетовий
6,5	Лимонно-жовтий	10,0	Фіолетовий
7,0	Жовто-зелений	10,5	Червоно-фіолетовий

Величину pH визначають за допомогою стандартного набору кольорових рідин у запаяних пробірках і компаратора з шістьма гніздами для пробірок. У гнізда компаратора вставляють пробірки і заповнюють їх так: у 1, 2 і 3 пробірки першого ряду наливають по 2 мл витяжки, в 1 і 3 пробірки додають по 1 мл дистильованої води, в 2 – 4 мл дистильованої води і 1 мл індикатора. У 5 пробірку (середню другого ряду) наливають 7 мл дистильованої води, у 4 і 6 гнізда вставляють стандартні пробірки, підбираючи так, щоб колір був однаковий з кольором середньої пробірки першого ряду. Величина pH досліджуваного екстракту відповідає цифрі, вказаній на стандартній пробірці. Якщо відтінок кольору рідини в пробірці з досліджуваним екстрактом займає проміжне положення між двома стандартними пробірками, то беруть середнє значення між показниками pH цих двох розчинів.

*Потенціометричний метод визначення pH.*Більш точно визначити концентрацію водневих іонів (pH) можна тільки за допомогою електрометричного методу, тобто використовуючи потенціометри: pH-метри-340, ЛПУ-01 та інші, а також іонометри типу ЕВ-74. Вони бувають вітчизняні та імпортні, але до кожного приладу додається інструкція і методика визначення pH і, як правило, у водній витяжці в співвідношенні 1:10.

Метод заснований на вимірюванні електрорушійної сили елементу, що складається із електроду порівняння з відомою величиною потенціалу та індикаторного (скляного) електрода, потенціал якого зумовлений концентрацією іонів водню в досліджуваному розчині. За допомогою pH-метрів вимірюють різницю потенціалів між двома електродами, які поміщені в розчин.

Порядок потенціометричного визначення pH зводиться до такого. Прилад перевіряють і наставляють за стандартними буферними розчинами. Як приклад наводимо послідовність визначення pH на pH-метрі-340. Прилад вмикають у мережу і після 60-хвилинного прогрівання (безпосередньо перед визначенням pH) перевіряють і наставляють його за стандартними буферними розчинами з різним pH.

При цьому перемикач "розмах" встановлюють у положенні 15 pH, перемикач температури – на значення температури буферного розчину. Температура досліджуваного і стандартних розчинів повинна бути однаковою. Потім скляний електрод і електрод порівняння поміщають у буферний розчин, який обережно перемішують для приведення системи в рівновагу. Перемикач "межа виміру" встановлюють у положення, яке відповідає діапазону pH вимірювального буферного розчину, і перевіряють покази приладів в діапазонах: для буферного розчину з pH 1,1 у діапазоні вимірювань pH 1,0-2,0; з pH 4,0 у діапазоні pH 2,0-5,0; з pH 6,8 у діапазоні pH 5,0-8,0 і з pH 9,22 у діапазоні pH 8,0-11,0.

Покази pH-метра повинні відповідати pH буферних розчинів. Відсутність такої відповідності вказує на порушення ізоляції або пошкодження електрода (тріщини або подряпини мембрани).

Показники на широкому діапазоні вимірювань (від 1,0 до 14,0) відраховують на нижній шкалі приладу. Показники на вузьких діапазонах відраховують на верхній шкалі, переключивши ручку перемикача з положення 15 pH в положення 3 pH (тільки на час відрахунку показів). Після перевірки за буферним розчином у посуд для електродів наливають досліджуваний розчин, поміщають електроди і за верхньою шкалою відраховують покази приладу.

*Визначення аміно-аміачного азоту***.** Під час зберігання ковбасних виробів і копченостей під дією протеолітичних ферментів бактерій проходить розщеплення речовин з утворенням сполук аміаку у вигляді його солей і вільних амінокислот, за кількістю яких судять про свіжість продукту чи ступінь його псування.

Аміно-аміачний азот при псуванні ковбас, як правило, безперервно нагромаджується, однак ріст мікрофлори може викликати зниження цього показника. У таких випадках постійно спостерігається різко позитивна реакція на аміак з реактивом Неслера, тобто проходить вже розпад амінокислот з утворенням вільного аміаку.

Для визначення аміно-аміачного азоту в м'ясі і м'ясопродуктах запропоновано багато методів, але найпростіший – це метод титрування за фенолфталеїном.

Порядок визначення. У колбу наливають 10 мл профільтрованої витяжки (1:4), додають 40 мл дистильованої води і три краплі 1%-го спиртового розчину фенолфталеїну. Витяжку нейтралізують 0,1-молярним розчином натрію гідроксиду до блідо-рожевого забарвлення. Потім у колбу додають 10 мл формаліну, нейтралізованого за фенолфталеїном, і вміст колби титрують 0,1 Н розчином натрію гідроксиду до блідо-рожевого кольору.

Вміст аміно-аміачного азоту в 10 мл витяжки розраховують за формулою: $X = 1,4 * A$,

де А – кількість 0,1 Н розчину лугу, витраченого на друге титрування.

Однак необхідно зазначити, що класичним методом визначення аміно-аміачного азоту у м'ясопродуктах є метод, запропонований Г.В.Колоболотським.

Визначення аміно-аміачного азоту за Г.В.Колоболотським. У мірну колбу на 100 мл наливають 40 мл фільтрату витяжки (1:4) і додають послідовно для осадження білків 10%-й розчин алюмінієвих квасців і насичений розчин барію їдкого загальним об'ємом приблизно однаковим або дещо більшим від об'єму м'ясної витяжки.

Попередньо встановлюють кількість барію їдкого, необхідного для нейтралізації відповідної кількості 10%-х квасців: 10 мл 10%-х алюмінієвих квасців відтитровують насиченим розчином барію їдкого за фенолфталеїном і розраховують кількість реактивів, необхідних для осадження білків. Колбу доливають до позначки дистильованою водою і дають рідині відстоятися 10 хв.

У другу колбу на 100 мл (для контролю) беруть таку ж кількість розчинів алюмінієвих квасців і барію їдкого, як і для осадження білків, колбу доливають до позначки дистильованою водою і також відстоюють 10 хв. Досліджувану витяжку після осадження білків і контрольний розчин пропускають через гладенький паперовий фільтр, після чого у фільтратах визначають аміно-аміачний азот.

У конічну колбу наливають 20 мл витяжки і додають 0,3 мл першого змішаного індикатора, який складається з рівної суміші 0,1%-х спиртових розчинів нейтрального червоного і метиленового блакитного. Потім суміш титрують 0,1-молярного натрію гідроксиду до нейтральної реакції, тобто до переходу забарвлення фільтрату з синьо-жовтого у зелене. В цю ж колбу доливають 10 мл формаліну, попередньо відтитрованого до нейтральної реакції за тим же індикатором і 0,5 мл другого змішаного індикатора (1 частина 0,1%-го розчину тимолового синього і 3 частини 1%-го розчину фенолфталеїну на 50%-му спирті). Вміст колби забарвлюється в синьо-фіолетовий колір.

Фільтрат знову титрують 0,1 молярним розчином натрію гідроксиду. В міру додавання лугу фільтрат набуває спочатку яскраво-зеленого кольору, а потім, при наступному титруванні – синьо-фіолетового. Перехід кольору фільтрату із яскраво-зеленого в синьо-фіолетовий слід вважати закінченням формольного титрування.

Паралельно ставлять контрольний дослід: в колбу наливають 20 мл контрольного розчину і титрують так само, як і досліджують розчин.

Визначення аміаку за Ебером.Це дуже простий метод якісного виявлення газоподібного аміаку в продуктах. Насамперед слід підготувати реактив Ебера, який складається з однієї частини концентрованої соляної кислоти, однієї частини ефіру і трьох частин етилового спирту. Основним реагентом служить водень хлористий, ефір сприяє швидкому випаровуванню рідини. Газоподібний аміак, що виділився з м'ясопродукту, з'єднується з воднем хлористим, утворюючи нашатир: $NH_3 + HCl = NH_4Cl$.

Порядок виконання. В пробірку наливають 1 мл реактиву Ебера, струшують і закривають корком з пропущеним через нього дротиком або скляною паличкою, що закінчується гачком. На гачок чіпляють маленький шматочок досліджуваної ковбаси чи копченостей.

Відстань між цим шматочком і поверхнею реактиву повинна бути приблизно 1 см. За наявності в м'ясопродукті газоподібного аміаку в пробірці з'являється біла хмарка нашатирю.

Хмарка більш помітна при русі палички догори і донизу, особливо в момент виймання шматочка продукту з пробірки.

Реакцію читають так: слабо позитивна – швидко зникає хмарка, яка утворилась у момент виймання шматочка м'ясопродукту з пробірки; позитивна – стійка хмарка, яка утворюється через декілька секунд після внесення шматочка м'яса в пробірку з реактивом; від'ємна – хмарка не з'являється.

Не можна досліджувати охолоджені м'ясопродукти, оскільки можлива конденсація парів води і поява «несправжньої хмарки».

Охолоджені продукти необхідно довести до кімнатної температури.

Визначення аміаку за Неслером. Цей метод базується на здатності аміаку і солей амонію утворювати з реактивом Неслера (подвійна сіль йодистої ртуті і калію йодистого, розчинена в калію гідраті окису) йодид меркурамонію – осад, забарвлений в жовто-бурий колір.

Порядок виконання. Наважку фаршу масою 5 г зважують з точністю до 0,001 г, переносять у конічну колбу з 20 мл двічі перекип'яченої дистильованої води і настоюють 15 хв при трикратному збовтуванні. Одержану витяжку фільтрують.

Для приготування реактиву Неслера 10 г калію йодистого розчиняють в 10 мл гарячої дистильованої води, додають до одержаного розчину гарячий насичений розчин ртуті хлорної до появи червоного осаду, який не зникає при збовтуванні.

Потім фільтрують, у фільтрат додають 30 г калію гідрату окису, розчиненого в 80 мл дистильованої води, і 1-5 мл гарячого насиченого розчину ртуті хлорної.

Після охолодження в розчин додають дистильовану воду до об'єму 200 мл. Реактив Неслера зберігають у холодному місці у темній склянці з притертим корком. Розчин повинен бути безбарвним.

У пробірку вносять піпеткою 1 мл витяжки і додають 10 крапель реактиву Неслера. Вміст пробірки збовтують, спостерігають за зміною кольору і встановлюють прозорість витяжки.

М'ясопродукти вважаються свіжими, якщо витяжка набуває зелено-жовтого кольору, залишається прозорою або злегка мутніє.

М'ясопродукти вважаються сумнівної свіжості, якщо витяжка стає інтенсивно-жовтого кольору, значно мутніє, після відстоювання протягом 10-20 с випадає тонкий шар осаду жовтого кольору.

Витяжка із несвіжих м'ясопродуктів забарвлюється в червоно-оранжевий колір, швидко утворюються великі пластівці, які випадають в осад.

Таблиця 6.5

Порівняльні якісні характеристики м’яса

Кількість краплин реактиву Несслера	Спостереження	Зміна зовнішнього вигляду екстракту	Якість м’яса
10	Через 10 хв прозорість зменшується, розчин не мутніє	Не мутніє, не жовтіє	Якісне (свіже)
6 і більше	Через 20 хв появляється слабкий осад.	Мутніє, жовтіє	Сумнівної якості
1÷2	Після додавання 1-ої краплі спостерігається сильне пожовтіння, утворення осаду під час зберігання	Мутний, жовтий	Неякісне (несвіже)

Визначення сірководню (з підігрівом фаршу). При дослідженні ковбасних виробів і копченостей визначення сірководню може бути одним з об'єктивних методів розпізнавання їх санітарної якості, оскільки нагромадження сірководню частіше проходить при розкладі білків у анаеробних умовах.

Порядок виконання. У широку пробірку поміщають крихким шаром 7-15 г фаршу. Над пробіркою підвішують смужку твердого фільтрувального паперу, на нижню частину якої наносять краплю діаметром 3-5 мм 10%-го лужного розчину оцтово-кислого свинцю. Смужку паперу закріплюють так, щоб звисала до середини пробірки.

Підготовлену так пробірку поміщають у водяну баню при температурі 50-55 ^{0}С на 15 хв, після цього папір виймають і швидко читають реакцію. Якщо м'ясопродукт свіжий, то крапля не забарвлюється або набуває слабо-

бурого кольору; при дослідженні сумнівної свіжості продукту крапля забарвлюється в буро-червоний колір; а несвіжого – в темно-коричневий.

Формольна проба. При підозрі, що ковбасні вироби і копченості виготовлені з м'яса, одержаного від хворих тварин або забитих у стані агонії, можна застосовувати формольну реакцію. Суть її полягає в тому, що ще за життя у хворої тварини в м'язах у значній кількості нагромаджуються проміжні і кінцеві продукти білкового обміну (розпаду глобулінів) – поліпептиди, пептиди, вільні амінокислоти та ін., які осаджуються формальдегідом. Для проведення реакції потрібна водна витяжка з м'яса у співвідношенні 1:1.

Для приготування витяжки 1:1 пробу м'яса звільняють від жиру та сполучної тканини і зважують 10 г. Потім наважку поміщають в ступку, старанно подрібнюють зігнутими ножицями, доливають 10 мл фізіологічного розчину і 10 крапель 0,1 молярного розчину натрію гідроксиду. М'ясо розтирають товкачиком. Одержану масу переносять за допомогою скляної палички в колбу і нагрівають до кипіння для осадження білків. Колбу охолоджують під краном, після чого її вміст нейтралізують додаванням п'яти крапель 5%-го розчину щавлевої кислоти і пропускають вміст пробірки через фільтр. Якщо витяжка після фільтрування залишається мутною, її фільтрують повторно або центрифугують.

Якщо потрібно одержати більшу кількість витяжки, рекомендують зважити 20-30 г м'яса і останні розчини брати у відповідному об'ємі.

Порядок виконання. В пробірку наливають 2 мл витяжки і додають 1 мл нейтрального формаліну. Витяжка, одержана із м'яса тварини, забитої в агонії, важко хворої або розробленої після загибелі, перетворюється в щільний згусток, у витяжці із м'яса хворої тварини випадають пластівці. Витяжка із м'яса здорової тварини залишається рідкою і прозорою або слабко мутніє.

Люмінесцентний аналіз. Візуальну люмінесценцію проводять за допомогою флюороскопа або апарату «Ультрасвітло».

Її можна проводити як безпосередньо з ковбасним фаршем, так і з витяжкою з м'ясопродуктів.

М'ясну фаршеву витяжку (1:4) підігрівають для осадження білків і пропускають через паперовий фільтр. Для просвічування в пробірку з безбарвного скла наливають 2 мл витяжки. Пробірку з м'ясним фільтратом поміщають у потік ультрафіолетових променів (кут падіння променів 45^0), після чого встановлюють інтенсивність свічення фільтрату.

Витяжка з доброякісних м'ясопродуктів не флуоресціює або випромінює блідо-рожеве світло, з сумнівної свіжості – молочно-блакитне, а із несвіжої – зеленувато-блакитне або блакитне різної інтенсивності.
В ультрафіолетових променях проглядають поверхню і свіжі розрізи ковбасних виробів та копченостей. Свіжі м'ясопродукти в ультрафіолетових променях світяться блідо-рожевим кольором з бурими плямами, підозрілої свіжості – вишнево-червоним або коричневим кольором, і несвіжі – темно-синім кольором з зеленими, червоними, чорними і синіми плямами.

Аналіз обсіменіння м'яса токсичними мікроорганізмами. Для виготовлення витяжки 1:1 пробу м'яса звільняють від жиру та сполучної тканини і зважують 10 г. Потім наважку поміщають у ступку. Старанно подрібнюють зігнутими ножицями, приливають 10 $см^3$ фізіологічного розчину і 10 крапель водного 0,1% розчину NaOH. М'ясо розтирають товкачиком. Одержану масу переносять за допомогою скляної палички у колбу і нагрівають до кипіння для осадження білків. Колбу охолоджують холодною водою під краном, після чого її вміст нейтралізують додаванням п'яти крапель 5%-го розчину оксалатної кислоти, відфільтровують. Якщо витяжка після фільтрування залишається мутною, її фільтрують повторно.

Для проведення кольорової реакції у пробірку наливають 2 $см^3$ витяжки досліджуваного м'яса і додають до неї реактиви у такій послідовності: одну краплю 1%-го спиртового розчину крезилблау, три краплі 0,5 %-го розчину аргентум нітрату й одну краплю 40 %-го розчину хлоридної кислоти. Потім пробірку добре струшують і з мікропіпетки додають 0,15 $см^3$ 1 %-го розчину калій перманганату, знову струшують. Для контролю у іншу пробірку відбирають 2 $см^3$ витяжки з м'яса здорової тварини і додають реактиви у таких же кількостях і в такій самій послідовності.

Реакцію читають на білому тлі відразу і через 10÷15 хв. Другий результат вважають остаточним. За наявності мікробів чи їх токсинів колір витяжки залишається синім або зеленим; за відсутності мікробних токсинів витяжка забарвлюється у рожево-червоний або червоно-бурий колір. При незначній кількості мікробних токсинів витяжка стає фіолетовою або знебарвлюється, але через 10÷15 хв колір її знову відновлюється. Отримані результати аналізують та роблять висновок про якість досліджуваної продукції.

Таблиця 6.6

Характеристика варених ковбас різних категорій свіжості

Показники	Категорії свіжості ковбас		
	Свіжа	Підозрілої свіжості	Несвіжа
Кількість мікробів у полі зору мікроскопа: поверхневі шари глибокі шари	До 20 поодинокі	20-30 10-20	Понад 30 20-30
Люмінісцентний аналіз (колір фаршу)	Блідо-рожевий з бурими плямами	Вишнево-червоний або коричневий	Темно-синій, з зеленими, червоними, чорними і синіми плямами
Аміно-аміачний азот (мг%)	40-90	90-120	Понад 120
Аміак за Ебером (реакція)	Від'ємна	Слабо-позитивна	Позитивна
Аміак за Неслером (колір екстракту)	Світло-жовтий або жовтий	Жовто-оранжевий з помутнінням	Червоно-оранжевий з осадом
Сірководень (реакція)	Негативна	Слабо-позитивна	Позитивна
Формольна реакція (стан витяжки)	Прозора	Дрібні згустки	Великі згустки або осад

Питання для контролю і самоперевірки

1. Для чого переробляють продукцію?
2. За якої температури заморожують м'ясо?
3. У чому суть технології соління м'яса?
4. Які є способи соління м'яса?

5. У чому полягає процес хімічного консервування – копчення? Які його особливості?

6. Основні складові компоненти м`яса.

7. Характеристика білків м`яса.

8. Етапи, які проходять в м'ясі після забою тварин.

9. Основні способи запобігання гниттю м'яса.

10. Яке м’ясо характеризується високою вологоутримуючою здатністю?

11. Які зміни відбуваються у м’язовій тканині в процесі аутолізу при зміщенні pH в кислу сторону?

12. Що таке „загар м’яса” і які його характерні ознаки.

6.2. Біохімія молочної сировини молокопродуктів

Хімічний склад молока. Молоко – секрет молочної залози, який служить продуктом живлення ссавців в перший період після народження. Молоко є повноцінною і незамінною їжею для новонароджених тварин і є одним з основних продуктів харчування людини та сировиною для виробництва різних молочних продуктів.

Молоко виробляється в молочній залозі, яка найрозвиненіша під час вагітності і в післяпологовий період. Молочна залоза функціонує в лактаційний період (період, коли виділяється молоко). Найтриваліший цей період у корови (в середньому він триває 300-305 днів). Якість молока залежить від віку, типу годівлі, фізіологічного стану, породи та інших факторів. Прототипом молока є речовини крові – для утворення 1 літру молока необхідно приблизно 500 л крові. В молоці немає фібриногену, але є казеїноген.

На вигляд молоко – біла або жовтувато-біла рідини. Білки молока корови засвоюються на 96-99%, ліпіди – на 95%, вуглеводи – на 98%. Густина молока 1,027-1,033. Реакція середовища кисла або близька до нейтральної – pH=6,5-7,0.Температура замерзання 0,54-0,57^{o}C.

Температура кипіння – 100,2^{o}C.

У різних тварин хімічний склад молока різний.

Вода. Джерела води молока різні. Здебільшого вона надходить з крові. Вміст води в молоці – 83-89 %.

У складі молока визначають такі форми води:

а) вільна вода – в молоці і молочних продуктах ця форма води не зв'язана з іншими речовинами. В ній розчинені органічні і неорганічні речовини. Легко випаровується. Кількість вільної води становить 96-97 % усієї води молока;

б) зв'язана вода – велика кількість білкових речовин, фосфатидів і полісахаридів добре зв'язують воду завдяки наявності у їх складі гідрофільних груп. Така вода утворює на поверхні колоїдної частинки мономолекулярний шар, що перешкоджає їх з'єднанню. Замерзає при температурі нижче 0 С, важко випаровується при висушуванні, не доступна для мікроорганізмів, тому її вміст в сухих продуктах не створює умов для їх розвитку. Зв'язаної води в молоці небагато – близько 3 %;

в) вода набухання – міститься в ліофільних колоїдах. Білки, як високомолекулярні сполуки, володіють здатністю до набухання, поглинаючи великі кількості води і при цьому збільшуючись в об'ємі. Легко відокремлюється під час сушіння. Важливе значення цієї форми води в технологічних процесах – залежить консистенція багатьох кисломолочних продуктів;

г) кристалізаційна вода – особлива форма зв'язаної води. Приймає участь в утворенні кристалогідратів. В молочних продуктах її майже немає, за винятком молочного цукру, який кристалізується з однією молекулою води – $C_{12}H_{22}O_{11}•H_2O$;

д) гігроскопічна вода – міститься в сухих молочних продуктах з високим вмістом білка – казеїн, сухе молоко. При зберіганні цих продуктів в умовах підвищеної вологості, вони поглинають її з повітря. При висушуванні дана форма води видаляється.

Білки. Загальна кількість білкових речовин в молоці становить 3,3 %, в тому числі казеїну – 2,7 %, альбуміну – 0,4 % і глобуліну – 0,2 %. Молочний білок відрізняється від рослинного меншим вмістом азоту, але засвоюваність азоту молока набагато вища.

Основний білок молока – ***казеїн*** (від латинського caseus – сир). Це складний білок, відноситься до фосфопротеїдів. Казеїн містить усі незамінні

амінокислоти в оптимальному для організму співвідношенні. Особливо високий вміст у казеїні метіоніну (3,5%), лізину (6,9%), триптофану (1,85), лейцину (12,1%), валіну (7%).

Складається з чотирьох основних фракцій: α_s, β, γ, К.

α_s – фракція чутлива до дії іонів кальцію, а К-казеїн – фракція не чутлива до дії іонів кальцію;

α- і β-фракції, які найбагатші на фосфор, добре зсідаються сичужним ферментом;

γ-фракція – коагуляції цим ферментом не піддається.

Казеїн надає молоку білого кольору та зумовлює його непрозорість.

Казеїн – високопоживний білок, хоч він перетравлюється важче, ніж альбумін і глобулін. На сьогоднішній день розроблено спосіб з казеїну молока антибіотиків – казеїцидинів. Уже в малих кількостях вони виявляють високу протимікробну активність до деяких хвороботворних мікроорганізмів.

Казеїн належить до запасних білків. До складу білків молока казеїн входить у вигляді попередника – казеїногену, вміст якого в молоці 80%. У коров'ячому молоці вміст його становить 2,8-3,5%, а в жіночому – 0,3-0,9%.

Перетворення казеїногену на казеїн відбувається під дією ферменту пепсину (у дорослих) та реніну або хімозину (у дітей). Казеїн в молоці знаходиться у вигляді казеїнаткальційфосфатного комплексу.

Білки сироватки. Після видалення з молока казеїну в сироватці залишається невелика кількість розчинних білків, які називаються сироваткові. До їх складу входять альбуміни, глобуліни, білок оболонок жирових кульок, низькомолекурні білки.

Альбумін. Розчинний у воді, не осідає під дією кислоти і сичужного ферменту. На практиці альбумін виділяють нагріванням. При нагріванні молока до 72-75 °С він випадає з молочної сироватки у вигляді ніжних тонких пластівців. При температурі 85-100 °С виділяється повністю. Належить до повноцінних білків. Рівень перетравлення молочного альбуміну вищий, ніж альбуміну курячого яйця. Відрізняється від інших білків більшим вмістом триптофану (близько 7%).

Виділено три фракції альбуміну: α -лактоальбумін; β -альбумін – має властивості лактоальбуміну; γ -альбумін – ідентичний альбуміну сироватки крові.

Альбумін використовують для приготування альбумінового крему, пасти, зеленого сиру.

Глобулін. В молоці вміст до 0,2%, в молозиві – 8-15%. Має важливе значення для новонароджених, оскільки характеризується бактерицидними властивостями і підвищує резистентність організму. Глобулін молока є носієм імунних властивостей. При нагріванні підкисленого молока до температури 80 °С глобулін зсідається. Для відокремлення глобуліну від альбуміну використовують метод висолювання шляхом насичення магнію сульфату.

Розрізняють три фракції глобуліну: β -лактоглобулін; евглобулін; псевдоглобулін.

Білок оболонок жирових кульок. Оболонка жирових кульок складається із суміші фосфоліпідів і білків, які називаються ліпопротеїнами. Цей білок повністю зсідається при додаванні кальцій хлориду та нагріванні до температури 100°С.

Низькомолекулярні білки. До них належать протеази, пептони, поліпептиди. Ця фракція білків не осідає із знежиреного, підкисленого молока при нагріванні до температури 90-100°С протягом 20 хв, але осідає під дією трихлороцтової кислоти. Становить 4% усіх білків молока.

Ферменти, імунні та бактерицидні речовини належать до білків, і є в молоці в невеликих кількостях.

Небілкові азотисті речовини. До них належать сечова кислота, сечовина, креатинін, ксантин, гуанідин, гіпурова кислота, пуринові основи, амінокислоти та аміак. Вони потрапляють у молоко з крові як продукт білкового обміну. Важливе значення мають вільні амінокислоти – це переважно триптофан, тирозин, цистин, глутамінова кислота та інші, оскільки вони є одним з основних джерел азотистого живлення молочнокислих бактерій в період їх росту в молоці. До небілкових азотистих речовин також належать пігменти кормового походження – хлорофіл, ксантофіл, кератин. Кількість небілкових

азотистих речовин молока коров'ячого складає 0,1-0,2%, у кобилячому 0,5-0,6%.

Вуглеводи. В молоці містяться *моносахариди* – глюкоза, галактоза, манноза, фруктоза і арабіноза. З амінопохідних в молоці виявлено гексозаміни – глюкозамін, галактозамін і сіалову кислоту. Моносахариди та їх похідні містяться в молоці як у вільному стані, так і в сполученні з білками, жирами та іншими вуглеводами – у складі мукопротеїдів, муколіпідів і мукополісахаридів.

Молочний цукор або лактоза є тільки в молоці. Це дисахарид, до складу якого входить глюкоза і галактоза, з'єднані 1,4-глікозидним зв'язком.

Лактоза – біла кристалічна речовина, менш солодка ніж буряковий цукор. Нагрівання водних розчинів молочного цукру сприяє його карамелізації. Припускають, що це результат взаємодії білків з цукром з утворенням сполук, які називаються меланоїдами. За дії високих температур (180°С) відбувається трансформація глюкози у фруктозу і утворюється лактулоза, яка є активним біфідогенним фактором і використовується у виробництві продуктів дитячого, дієтичного харчування та при лікуванні різних кишечних захворювань у людей.

За поживністю лактоза не відрізняється від бурякового цукру і на 98% засвоюється організмом. Вміст лактози у молоці становить 4,7-4,8%. Має важливе значення при виробництві сиру, кисломолочних продуктів та молочних напоїв. Поряд з цим лактоза може бути причиною скисання молока.

Ліпіди. За хімічною будовою та фізико-хімічними властивостями ліпіди поділяють на прості (гліцериди та стерини); складні або ліпоїди (фосфоліпіди або фосфатиди).

В молоці коров'ячому міститься 3,2-4,5% (97-95%) простих і 0,04-0,06% (2,5%) складних ліпідів.

Молочний жир є переважно сумішшю тригліцеридів. До складу молочного жиру входять переважно 10 насичених та 10 ненасичених вищих жирних кислот. Між їх молекулярною масою та фізичними властивостями існує взаємозв'язок – чим нижча молекулярна маса кислоти, тим вища густина і

навпаки. А від густини і молекулярної маси залежить точка плавлення кислоти. Чим більша молекулярна маса, тим вища точка плавлення.

В молоці є холестерин (0,012-0,013%), фосфатиди і гліколіпіди – 0,032-0,050%.

Вітаміни. До складу коров'ячого молока входять жиророзчинні вітаміни: А. Д, Е; водорозчинні – B_1, B_2, РР, С. Найвищий вміст вітаміну С в кобилячому молоці (33 мг%).

Пігменти. Серед пігментів до складу молока входять каротини, лактофлавін, невелика кількість хлорофілів.

Мінеральні речовини. У складі молока міститься до 1% мінеральних речовин. Після їх спалювання залишається лише 0,7-0,8% золи. Молоко містить до 80 хімічних елементів. Вони поділяються на:

-макроелементи (1-100 мг%) – Ca, Mg, Na, K, P, S, Cl;

-мікроелементи (0,01-1 мг%) – Fe, Al, Cr, Pb, Ag, Cu, Co, I, Zn, Mo, Ni, Mn тощо;

-ультрамікроелементи (менш як 0,01 мг%).

До складу молока входять солі неорганічних і органічних кислот, з яких найбільше значення мають солі ортофосфатної та лимонної кислот, казеїну.

Більшість солей в молоці перебуває в йонно-дисперсному та молекулярно-дисперсному стані, деякі – в колоїдному і нерозчинному стані.

Кальцій молока має важливе фізіологічне значення для людини і тварин, а його солі відіграють важливу роль в технології молочних продуктів.

Солі Калію і Натрію зумовлюють нормальний осмотичний тиск крові та молока і підтримують сольову рівновагу молока.

Солі Кальцію, Магнію, Калію і Натрію у складі молока містяться переважно у вигляді солей ортофосфатної та лимонної кислот. Солі ортофосфатної кислоти, які є типовою буферною сполукою, підтримують рівновагу сольової та колоїдної системи молока.

Кальцій у складі молока зв'язаний з казеїном – 22-26% від його загальної кількості. Фосфор у вигляді солей ортофосфатної кислоти становить 63-66% від його загального вмісту. На фосфор, зв'язаний з казеїном, фосфатидами та

фосфорними ефірами припадає 34-37%. Вміст солей лимонної кислоти в колоїдному стані становить 6-10%, в розчинній формі – 90-94%, зв'язаних з казеїном – 0,4-0,7% загального вмісту лимонної кислоти.

Мінеральні речовини разом з вуглеводами зумовлюють осмотичний тиск молока.

Гази. У свіжому молоці їх вміст такий: CO_2 – (50-70%), N_2 – (20-30%), O_2 – (20-30%). При зберіганні вміст газів у молоці зменшується, а потім залишається на одному рівні.

Гормони. Серед гормонів у складі молока виявлені окситоцин, кортикостероїди, статеві гормони, простагландини.

У таблиці 6.7 приведено хімічний склад молока різних тварин.

Таблиця 6.7

Хімічний склад молока

Вид тварини	Вода, %	Білки, %	Жири,%	Цукор,%
Кобила	90,3	1,8	1,1	6
Корова	87,3	3,4	3,6	5
Вівця	84	5,1	6,1	4,2
Коза	86,9	3,8	4,1	4,4
Свиня	82,4	6,1	6,4	4,0
Кріль	70	15,5	10,4	1,9
Олень	65	20	17	2,8

Молозиво – це секрет молочної залози в перші 5-7 діб після пологів. Молозиво виділяється також протягом 2-3 останніх днів вагітності. Від молока відрізняється високою кислотністю. Густина молозива – 1,035-1,082, в'язкість – 4,4.

Молозиво багате на імунні тіла. В ньому γ-глобулінів в 6-10 разів більше, ніж в сироватці крові. В молозиві у 2-3 рази більше фосфатидів, ніж в

звичайному молоці. Також молозиво багате на вітаміни, каротин, мінеральні речовини. Молозиво не зсідається при кип'ятінні.

Хімічний склад молозива корови подано у таблиці 6.8.

Таблиця 6.8

Хімічний склад молозива корови

Дні після отелу	Жир, %	Білки, %	В т.ч. глобуліни, %	Лактоза, %
1	5,4	15,08	12,4	3,31
2	5,0	11,89	8,14	3,77
3	3,4	4,68	1,8	4,46
10	3,4	3,3	0,69	4,74

Біосинтез складових частин молока. Процес утворення молока в молочній залозі тісно пов'язаний з кровообігом – для утворення 1 літру молока через молочну залозу повинно про циркулювати близько 650 літрів крові.

Процеси молокоутворення каталізуються ферментами оксидоредуктазами (забезпечують хімічною енергією цей процес); синтетазами (здійснюють біосинтез білків, жирів, лактози та інших складових частин молока); іншими ферментами.

Молокоутворення регулюється нейрогуморальним шляхом.

Основний фрагмент молока – жирова кулька.

Білки молока синтезуються в молочній залозі з амінокислот. Біосинтез білків молока проходить за типовою схемою.

Після синтезу формуються вторинна, третинна і четвертинна структури білкової молекули, які включаються у склад жирових кульок.

Основний вуглевод молока – *лактоза* – на 80% синтезується з глюкози, на 20% - з ацетату і пропіонату.

Утворення лактози відбувається в кілька стадій:

фосфоглюкокіназа

1) Глюкоза + АТФ → глюкозо-1-фосфат

2) Глюкозо-1-фосфат → лактозо1-фосфат + УДФ

3) Лактозо-1-фосфат → лактоза + H_3PO_4

УДФ + АТФ → АДФ + УТФ

Основа *ліпідів* молока – молочний жир.

Біосинтез ліпідів молока включає два процеси: утворення жирних кислот і гліцерину; утворення тригліцеридів.

Жирні кислоти частково надходять у молочну залозу з током крові, частина їх утворюється в тканинах молочної залози з ацетату.

Біосинтез тригліцеридів відбувається в базальних ділянках клітин альвеол. Крапля жиру окутується частинками білку і переміщується до апікального кінця клітини, формуючись у жирову кульку.

Разом з молочним жиром синтезуються стерини і стериди, фосфатиди і гліколіпіди. Деяка частина цих сполук надходить в молочну залозу з током крові.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Білки молока, їх основні властивості і склад.
2. Характеристика казеїну та його фракцій.
3. Молочний жир, його склад.
4. Вуглеводи молока.
5. Основні макроелементи молока.
6. Основні мікроелементи молока.
7. Основні водо- та жиророзчинні вітаміни молока.

6.3. Біохімія продуктів рибництва

Хімічний склад м'яса риб. Риба і рибні продукти займають вагоме місце в харчуванні людини. До об’єктів рибного промислу відносять: морські та прісноводні види риб; деякі мешканці природних і штучних водойм, наприклад водяні ссавці (кити), членистоногі, водорості тощо.

Харчові продукти рибництва представлені м’ясом, ікрою, молоками.

Медичні продукти рибництва представлені риб’ячим жиром (найчастіше добувають з тканин печінки тріскових); кормовими і технічними продуктами (рибним і рибно-кістковим борошном, риб’ячим клеєм, гуаніном, перлинним патом).

До *м’яса риб* відносять м’язи тіла разом із включеними в них дрібними кістками, зв’язками, жиром і кровоносними судинами. В середньому м’ясо становить 45-70% маси тіла риби. Також до *їстивних* частин тіла належать печінка і гонади (ікра, молочко).

М’ясо багатьох порід і видів риб має винятково дієтичне значення.

Хімічний склад м’яса риби визначається її видом, породою, віком, статтю, раціонами, вгодованістю, місцеположенням, часом вилову, сезоном, умовами зберігання тощо.

Залежно від вмісту жиру у м’ясі риб розрізняють три категорії:

-худу – вміст жиру до 2%;

-середньої жирності – вміст жиру від 2% до 5%;

- жирну – вміст жиру понад 5%.

Вода. М’ясо риб має високий вміст води – 50-80%. Вода перебуває у трьох станах: вільному (10-14% загальної кількості води); гідратованому (10% загальної води є складовою частиною сольватних оболонок білків, нуклеїнових кислот, полісахаридів, тощо); іммобілізованому (63-68%).

Під час обробки риби в ній змінюються вміст загальної води і співвідношення між окремими її формами, а також консистенція і смак. Наприклад, при заморожуванні вода з тіла риби не виділяється, але її зв’язки з біополімерами порушуються. При розморожуванні риби м’ясо стає водянистим і менш пружним. Після промивання риби в чистій воді на поверхні її тіла залишається *вода змочування*, крапельки води збільшуються внаслідок конденсації і загальна маса риби збільшується.

Білки. М’ясо риби містить в середньому 15-20% білка. Основна маса білків представлена альбумінами, глобулінами, нуклеопротеїдами, ліпо- та глікопротеїдами. Кількість сполучнотканинних білків – колагену, еластину

тощо в м’язах риби менша, ніж у м’язевій тканині тварин. Білки бідні на еластин і рівномірно розподілені в м’ясі. Білки поділяють на:

1 – альбумінові – водорозчинні;

2 – глобулінові – солерозчинні;

3 – міостромальні – нерозчинні у воді і розчинах солей;

4 – стромальні – нерозчинні у воді, розчинах солей і кислот;

5 – білки сарколеми – до 25%;

6 – міофібрил – 70%;

7 – білки строми – 5%.

До водорозчинних білків відносять міогени А і В; міоальбумін; міоглобулін – 25% білків м’яса. Це фактично білки саркоплазми.

До солерозчинних належать міозин, актин, актоміозин тропоміозин та ін. З них побудовані міофібрили і вони становлять 60-70% маси білків риби.

За амінокислотним складом м’ясо риб мало відрізняється від м’яса сільськогосподарських тварин.

Небілкові азотисті речовини. Представлені амінокислотами, амінами, аміаком, триметилмоноамонійними сполуками (триметиламіноксидом, бетаїном), похідними гуанідину (креатином), гістаміном, пуриновими і піримідиновими основами тощо.

Ліпіди. Представлені нейтральними жирами, діольними ліпідами, стеринами і стеридами, фосфатидами, гліколіпідами, сульфатидами.

Жир м’яса риб має рідку консистенцію і характеризується високим вмістом ненасичених жирних кислот. Легко окиснюється і гіркне, особливо на повітрі, під дією кисню і сонячного випромінювання. Має густину в межах 0,92-0,93 г/см^3. При нагріванні до 200 °С за наявності вологи гідролізується.

Такий жир легко псується. При цьому з гліцерину під час окиснення утворюється акролеїн, з ненасичених жирних кислот – гідроксикислоти, що робить його непридатним (разом з м'ясом) для вживання.

М'ясо риби містить невелику кількість фосфатидів (0,4-1,2%), представлених в основному лецитинами, кефалінами й сфінгомієлінами.

Вуглеводи. М'ясо риб має невисокий вміст вуглеводів. До його складу входить невелика кількість рибози і дезоксирибози (6 мг на 100 г), глюкози (до 38 мг/100 г), глікогену і продуктів гліколізу та глікогенолізу (0,5-85 мг/100 г), молочної кислоти (до 43 мг/100 г), деяка кількість глікозаміногліканів.

Мінеральні речовини. М'ясо риб виділяється серед інших продуктів харчування високим умістом легкодоступних для організму людини макро- і мікроелементів. На відміну від м'яса теплокровних тварин вміст мінеральних речовин у м'ясі риб коливається в широких межах – від 1 до 3 %. Особливо багате на мінеральні елементи м'ясо морських риб. Тут є велика кількість макроелементів (Ca, P, Mg, K, Na, S, CI) і мікроелементів (Cu, As, Co, Zn та ін.).

М'ясо морських риб містить Натрій, Хлор і Флуор у високих концентраціях і є цінним джерелом отримання у вигляді харчових продуктів багатьох мінеральних сполук.

Вітаміни. Риба – цінне джерело багатьох вітамінів. Жиророзчинні вітаміни сконцентровані в основному в тканинах печінки (найбільше у риб родини тріскових), брижі й частково у м'ясі. Кількість водорозчинних вітамінів у м'ясі риб майже така сама, як і в м'ясі теплокровних тварин. Зокрема, вітамін B_1 у свіжому м'ясі риб становить 0,03-0,07 мг на 100 г, B_5 – 3-7 мг і B_6 – 1 мг на 100 г.

Посмертні зміни в м'ясі риб. Риба, витягнута з води, швидко вмирає («засинає»). Її тіло поступово вкривається слизом, втрачає рухливість, важко піддається згинанню (внаслідок затвердіння спинних м'язів), м'ясо твердне, ямочки на тілі риби швидко вирівнюються при натисканні пальцями, кришки щільно прикривають зябра. Слиз становить 2,0-2,5 % маси снулої риби і має консистенцію сирого курячого яйця. 10-12 % сухої речовини слизу становлять білки, глікозаміноглікани та інші речовини. Якщо рибу не піддають технологічній обробці й не консервують, такий слиз є сприятливим середовищем для розмноження гнильної мікрофлори і розкладання риби як продукту харчування.

Показниками неякісної риби є: потьмяніння луски, що легко відділяється від тіла; запалі очі, каламутна, непрозора рогівка; жовто-сірі або коричневого

кольору зябра, вкриті брудно-каламутним слизом з різким гнильним запахом; здутим або розірваним (від надлишку газів гнильного бродіння) черевцем; в'яле м'ясо, що легко відділяється від кісток, при зануренні у воду тіло риби легко спливає на поверхню, м'ясо стає темним або інтенсивно-червоним, особливо біля кісток хребта. Реакції на наявність аміаку та сірководню позитивні. *Таке м'ясо непридатне для їжі і навіть для годівлі сільськогосподарських тварин та птиці*. Його слід утилізувати.

Посмертні зміни в м'ясі риб відбуваються в три послідовні фази: заклякання; дозрівання; автоліз.

Заклякання. Риба, що заснула, втрачає еластичність, не згинається, м'язи стають твердими й пружними, щелепи стиснуті, луска стає блискучою і міцно тримається, очі опуклі, анальне кільце запале, блідого або блідо-оранжевого кольору, запах стає специфічним. Посмертні зміни настають швидше, ніж у м'ясі теплокровних тварин, оскільки м'ясо риби містить незначну кількість глікогену (0,037%) порівняно з теплокровними тваринами (0,2-2% глікогену). Отже, під час заклякання м'яса риб утворюється набагато менше молочної кислоти, що й сприяє розвитку посмертних змін.

Посмертне заклякання *починається з голови*, поширюється на тулуб і хвіст. У здорової риби воно відбувається повільніше, ніж у хворої й тієї, що загинула від задухи. Швидкість заклякання перебуває у прямій залежності від температури навколишнього середовища: чим вона нижча, тим повільніше настає заклякання і тим довше риба є свіжою та надійніше зберігається (на цьому грунтується принцип її консервування методом заморожування).

Дозрівання. Тривають процеси гліколізу й глікогенолізу з утворенням у м'ясі природного консерванту – молочної кислоти. Під впливом клітинних протеаз білки розщеплюються до альбумоз, пептонів, поліпептидів, олігопептидів, дипептидів і амінокислот. Змінюється реакція середовища – pH м'яса риби досягає 6,8-7,2. М'ясо набуває приємного запаху і смаку, соковитості та ніжності. В цей період його потрібно негайно консервувати, оскільки реакція середовища в ньому менш кисла, ніж у м'ясі теплокровних

тварин (pH=5,6-5,8). М'ясо риб сприйнятливе до патогенної та умовно-патогенної мікрофлори.

Автоліз. Виловлена риба містить певну кількість мікрофлори, найбільше на поверхні тіла та в порожнині кишкового каналу. Вона різноманітна за своєю природою і дією на клітини й тканини м'яса. Під час гниття м'яса гнильна мікрофлора руйнує його тканини й клітини, відбувається розкладання білків, вуглеводів, ліпідів та екстрактивних речовин з утворенням різних токсичних речовин, що робить м'ясо непридатним для вживання, отруйним. Це передусім трупні отрути *путресцин і кадаверин, численні моноаміни* тощо. Таке м'ясо вибраковують і утилізують.

Характеристика інших продуктів рибництва. Риб'ячий жир – оліїста рідина, яку добувають із свіжої печінки тріскових риб (тріски, пікші, сайди тощо) і використовують у медицині, ветеринарії й тваринництві як цінне джерело вітамінів А і Д.

Риб'ячий жир випускають двох видів:

-медичний – прозора густа рідина світло-жовтого кольору, що має своєрідний запах і смак, густину 0,920-0,928;

-звичайний – каламутна оліїста маса бурого або темно-коричневого кольору з сильним своєрідним запахом і гіркуватим смаком. Його використовують переважно при годівлі сільськогосподарських тварин і хутрових звірів.

Риб'ячий жир – складна суміш ліпідів та їхніх складових частин. Хімічну основу риб'ячого жиру становлять триолеїн, трипальмітин і тристеарин. Вміст у жирах насичених жирних кислот коливається від 14 до 16%, олеїнової кислоти – близько 30%. У риб'ячому жирі є невелика кількість холестерину і стеридів, основ (алеліну і моруїну), моруолу - ароматичної олії, в якій містяться Фосфор, Йод і Бром. У ньому є деяка кількість клупанодонової кислоти з п'ятьма подвійними зв'язками, яка разом з її похідними зумовлюють специфічний запах жиру.

В 1 мл риб'ячого жиру міститься від 200 до 500 МО вітаміну А і від 80 до 100 МО – вітаміну D.

Риб'ячий жир упаковують у металеві бочки об'ємом по 50, 100, 150 і 200 л. Зберігають за температури менш як -15 °С, допускається зберігання за температури від 0 до -8 °С не більше 5 діб.

На світлі жир гіркне і псується, *вітамін D перетворюється на токсичний продукт токсистерол*. Термін зберігання жиру становить 1 рік, після цього кожні 6 місяців проводять контрольні перевірки на придатність його для використання.

Джерелом риб'ячого жиру є печінка та інші органи деяких видів риб.

Риб'ячий жир – цінний лікувальний і профілактичний засіб проти захворювань тварин на авітамінози й гіповітамінози А і D (ксерофтальмію і кератомаляцію, різні форми рахіту тощо). Його застосовують також при лікуванні деяких шкірних захворювань.

Ікра. Ікра – незапліднені яйцеклітини риб. Ікру як харчовий продукт виготовляють солінням яйцеклітин риб, звільнених з яєчників („ястиків") самок. Розміри ікринок промислових риб коливаються в широких межах – від 0,6мм (тунця і камбали) до 7мм (сьомги, кети, зубатки). Найплодючішою є місяць-риба – вона викидає до 300 млн ікринок.

Ікру як продукт харчування найчастіше отримують з таких риб: осетрових (білуга, осетер, севрюга, шип); лососевих (кета, горбуша, нерка, чавича, кижуч, сьомга) і частикових (сазан, судак, щука, вобла). Меншою мірою для цього використовують кефаль, лобаня, сигових, тріскових, оселедцевих та деяких інших риб.

Отриману сиру ікру піддають відповідній технологічній обробці. *З ікри осетрових риб виготовляють чорну зернисту ікру, лососевих – червону зернисту ікру*.

Ікра риб – цінне джерело важливих поживних речовин. Передусім у складі ікри є повноцінні білки, які містять усі незамінні амінокислоти; 17-18% маси ікри представлено білком *іхтуліном,* що належить до глобулінових білків. Для ікри характерний високий уміст жиророзчинних вітамінів, особливо вітамінів А і D.

Ікра – важливе джерело макро- і мікроелементів. Наприклад, ікра осетрових риб містить у середньому, мг на 100г маси: Кальцію – 50, Фосфору – 594, Магнію – 32, Феруму – 3,4, а далекосхідних лососів – відповідно 75, 141, 426 і 2.

Молочко. Молочко – дозрілі, що набули молочно-білого кольору статеві залози самця риби. Об'єм молочка становить, наприклад, у гігантської акули – 18 л, осетра – 0,5см^3, лосося - 2-4 см^3, коропа – 1-3 см^3, щуки – 1 см^3. В 1 см^3 молочка осетра міститься 2-3 млрд сперматозоїдів, окуня – 35, коропа – 28, щуки – 14 млрд.

Молочко містить багато повноцінних білків, ліпідів, мінеральних речовин, жиророзчинних вітамінів. Із молочка деяких видів риб (наприклад, осетрових) виготовляють консерви, оселедця – маринади для заливання риби, пролонговані лікарські препарати інсуліну (протамін –цинк – інсулін) тощо.

Рибне борошно. Рибне борошно – харчовий продукт, сировиною для приготування якого є непридатна для споживання риба, морські ссавці, ракоподібні, а також відходи рибопереробної і харчової промисловості, отримані під час обробки й переробки на харчову продукцію риб, крабів, креветок тощо. Виготовляють його сушінням і розмелюванням сировини. Борошно використовують у вигляді аморфного порошку (діаметр часточок 5мм) або гранул (діаметр гранули не більш як 50мм, довжина 30мм).

Хімічний склад рибного борошна залежить від вихідної сировини. Рибне борошно багате на білки (55-75 %), ліпіди (до 10 %), мінеральні речовини – Кальцій (до 13 %), Фосфор (до 5 %), Натрій (1,0-2,7%) та інші макро- і мікроелементи.

Рибне борошно – цінне джерело отримання тваринами вітамінів А, Д, групи В, особливо B_{12}. Білки рибного борошна містять усі незамінні амінокислоти – лізин (4,77-7,3%), триптофан (0,53-0,7 %), метіонін+цистеїн (2,55-3,6 %) та ін. Енергетична цінність 100г борошна становить 1162-1254 кДж обмінної енергії.

Поживні речовини рибного борошна високоперетравні. Воно є цінним компонентом раціонів для всіх вікових груп свиней і птиці. Борошно

упаковують у спеціальні мішки. Термін його придатності – 1 рік. Борошно з підвищеним умістом ліпідів (жиру) зберігається не довше як 3-4 міс.

Рибне борошно часто використовують для приготування преміксів. Премікси – суміш біологічно активних речовин різного походження (мікробіологічного, тваринного, рослинного та хімічного синтезу), які використовують для підвищення поживності комбікормів та поліпшення їх біологічної дії на організм тварин. Є різні види преміксів – поживні, мінеральні, вітамінні, вітамінно-терапевтичні та ін.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Особливості хімічного складу м’яса риби. Харчова та біологічна цінність риби.

2. Параметри якості м’яса риби.

3. Посмертні зміни в м’ясі риб.

4. Хімічний склад риб'ячого жиру.

5. Рибне борошно, його використання.

6.4. Біохімія харчових яєць

Будова яйця. Яйця є харчовим продуктом високої споживчої цінності. У громадському харчуванні, хлібопекарному, макаронному, кондитерському виробництвах, виробництві харчових концентратів використовують яйця курячі харчові, а також продукти переробки яєць – заморожені та сухі яєчні продукти.

До складу курячого яйця входять білки (13%), жири (12%), вуглеводи (0,7%), мінеральні речовини (1,1%), вода (74%), вітаміни. Енергетична цінність яйця становить 163 ккал/100г. Білки яйця засвоюються на 98%; ліпіди – на 96%. Енергетична цінність засвоюваних речовин у 100 г яйця (без шкаралупи) – 630 кДж.

У яйці містяться усі речовини, необхідні для розвитку нового життя. Функція яйця – створення нового живого організму, потреби якого мають повністю забезпечуватись за його ж рахунок. Тому склад харчових речовин яйця є різноманітним та багатим: повноцінні білки; жири, яки мають найцінніші природні якості – містять незамінні жирні кислоти (на 70%); ліпоїди

– лецитин і холестерин (у жовтку); вуглеводи; мінеральні речовини – Фосфор, Кальцій, Магній, Хлор, Калій, Натрій, Сульфур, Ферум; водорозчинні та жиророзчинні вітаміни. Хімічний склад білка й жовтка неоднаковий. Жовток є більш цінним у харчовому відношенні.

Форма і розмір яєць залежить від виду, породи птиці, періоду яйцекладки та віку несучки, умов утримання та годівлі. Найчастіше форма яйця овальна, майже кругла або видовжена.

Шкаралупа – захисне утворення, яке захищає вміст яйця від дії несприятливих факторів зовнішнього середовища. Має два шари:

- зовнішній (губчастий) – ззовні вкритий муциновою кутикулою;

- внутрішній (сосочковий).

Зовнішній шар становить 2/3 товщини шкаралупи. Товщина шкаралупи у різних видів птиці різна: у курей – 350 мкм; у качок – 383 мкм; у гусей – 535 мкм; у індичок – 461 мкм; у цесарок – 549 мкм.

Шкаралупа пронизана порами (діаметр 0,006-0,054 мм). У курей їх приблизно 7500.

Колір шкаралупи різний. Наприклад, у курей – білого кольору з відтінками від солом’яно-жовтого до світло-кавового.

Підшкаралупові оболонки – два листки, розміщені під шкаралупою. Вони зрощені і в області тупого кінця розходяться, утворюючи повітряну камеру – *пугу.* Пуга з’являється після знесення яйця. Розмір її залежить від ступеня проникливості шкаралупи і тривалості зберігання яйця. У ній міститься 18-29% кисню.

Білок – становить 60% маси яйця. Жовтуватого кольору. Має чотири шари: *зовнішній рідкий; середній щільний; середній рідкий; внутрішній щільний (його ще називають грудинковим шаром – містить градинки, або халази).*

При зберіганні яєць кількість щільного білку зменшується.

Жовток – становить 30% маси яйця. Має кулеподібну форму. Вкритий кератиновою жовтковою оболонкою. Жовток курячого яйця звичайно має 6 світлих і 6 темних шарів (при повільній овуляції їх число може зростати).

Послідовність світлих шарів жовтка відбиває його щоденний ріст в організмі курки.

В центрі жовтка є ядро діаметром 6 мм – латебра. На анімальному полюсі яйця розміщений зародковий диск розміром 2 мм. Від латебри до нього тягнеться шийка латебри – світлий жовток у вигляді вази.

Хімічний склад складових частин яйця. Шкаралупа яйця курки містить воду (1,6%) та сухий залишок (98,4%).

До сухого залишку входять органічні речовини (4,9%), мінеральні речовини (95,1%).

Органічні речовини представлені білками (в основному альбумінами, які містять цистин, аргінін, пролін, лізин, глутамінову кислоту); ліпідами; комплексами білків і вуглеводів – протеогліканами (містяться у незначній кількості в кутикулі шкаралупи).

Основою мінеральних речовин є карбонат кальцію (98,43%). Крім того, до складу шкаралупи входять карбонат магнію (0,84%) та трикальційфосфат (0,73%).

Підшкаралупові оболонки містять 8% води та 92% сухого залишку.

До сухого залишку входять органічні речовини (88%) та мінеральні речовини (4%). 28% органічних речовин становлять білки.

Зовнішня оболонка складається переважно з кератину, два шари внутрішньої оболонки – з кератину і протеогліканів.

Кератин оболонки у 1,5-3 рази багатший на сірку, ніж інші білки яйця.

У шкаралупі і оболонках міститься пігмент порфірин.

Білок яйця на 85,7% складається з води, на 12,7% – з білків, на 0,3% – з ліпідів, на 0,7% – вуглеводів і на 0,7% – з мінеральних речовин.

Білки представлені простими білками (овоальбумін, овокональбумін, оволобулін) та складними білками (овомуцин, овомукоїд – глікопротеїди).

Розрізняють п’ять індивідуальних білків:

- *овоальбумін* (містить багато аспарагінової і глутамінової кислот, аланіну, лейцину); *овомукоїд; овомуцин; овокональбумін*; *оволобулін.*

До складу ліпідів входять нейтральні жири, стерини, стериди, фосфоліпіди, гліколіпіди.

Вуглеводи перебувають у вільному і зв'язаному станах. Основні вуглеводи – маноза, галактоза.

Білок яйця містить *ферменти* білкового, ліпідного, вуглеводного, енергетичного, мінерального обмінів; *лізоцим*, який надає бактерицидних властивостей, *пігменти ліпохроми і ліохроми*.

Небілкові азотисті речовини: пуринові і піримідинові азотисті основи; аміак; амінокислоти; креатинін.

Мінеральні речовини: Кальцій, Фосфор, Натрій, Калій, Магній, Сульфур, Ферум.

Жовток**.** Середній хімічний склад жовтка курки: вода – 48,7%; білки – 16,6%; ліпіди – 32,6%; вуглеводи – 1,0%; мінеральні речовини – 1,1%.

Світлий і темний жовтки різняться за хімічним складом.

Світлий	Темний
Вода – 85%	Вода – 45%
Білки – 4,6%	Білки – 15%
Ліпіди – 3,8%	Ліпіди – 32%

У обох видах жовтка однакова кількість вуглеводів.

Білки жовтка: ововітелін (77,4%) – це фосфопротеїд, який містить приблизно 33% фосфору; *оволіветин* (22,6%) – багатий на сірку; *фосфовітин*.

Білки жовтка з фосфатидами утворюють ліпопротеїдні комплекси.

Ліпіди жовтка становлять приблизно 99% усіх ліпідів яйця. Це стерини і стериди, жири, фосфатиди, гліколіпіди. Містять насичені жирні кислоти (стеаринову і пальмітинову), ненасичені жирні кислоти (олеїнову, лінолеву, ліноленову). В жовтку курячого яйця міститься приблизно 1,6% холестерину.

Вуглеводи жовтка представлені глюкозою, галактозою, полісахаридами (входять до складу глікопротеїдних комплексів).

Мінеральні речовини: Кальцій, Магній, Хлор, Калій, Натрій, Сульфур, Ферум, Фосфор.

Пігменти представлені *ліпохромами* (подібні до каротинів і становлять основну масу червоних, жовтих і оранжевих пігментів); *ліохромами (* до них відносяться оранжево-жовтий пігмент жовтка – овофлавін).

Вітаміни. Жовток багатий на вітаміни А, Д, Е, B_1, B_2, B_3, B_6, B_{12}.

Біосинтез складових частин яйця. Яйце утворюється в органах розмноження. Спочатку росте і дозріває яйцеклітина. Потім навколо неї формуються жовток, білок, оболонки і шкаралупа.

У дорослих самок функціонують тільки лівий яєчник і яйцепровід. Ззовні яєчник нагадує гроно винограду. В ньому розміщуються яйцеклітини (у курки – 900-3600, у качок і гусей – 1000 і більше).

Зріла яйцеклітина має власні оболонки, судинну і нервову сітки і сполучається з яєчником за допомогою спеціальної ніжки.

Етапи розвитку яйця:

а) розвиток яйцеклітини. Кожна яйцеклітина оточується шаром фолікулярного епітелію, який є посередником між нею і судинною сіткою яєчника. Через капілярну сітку і міжклітинну рідину в яйцеклітину з крові надходять прості речовини, з яких синтезуються складові частини яйця. Між яйцеклітиною і фолікулярним епітелієм утворюється жовткова оболонка, що складається з двох шарів (зовнішнього і внутрішнього). При дозріванні оболонка фолікула лопається, настає овуляція, і яйцеклітина проходить у лійку яйцепроводу.

б) яйцеклітина надходить у інші відділи органів розмноження. При наявності сперматозоонів у лійці відбувається запліднення. Під час проходження яйцеклітини через білкову частину яйцепроводу формується білок яйця. Утворюється внутрішня підшкаралупова оболонка, а потім – зовнішня. Тут синтезується овопорфірин, який надає оболонкам світло-рожевого забарвлення.

в) яйце потрапляє в матку. Воно обволікається секретом маткових залоз. Спочатку на підшкаралупових оболонках формується сосочковий шар, потім – губчастий і, нарешті, кутикула.

г) з матки яйце надходить у піхву, клоаку, де з протеогліканів слизу формується кутикула, і після цього виділяється у зовнішнє середовище.

У різних ділянках органів розмноження яйце знаходиться неоднаковий час (із 23-26 годин, необхідних для його утворення, 80% часу – в матці).

На несучість впливають внутрішні і зовнішні фактори.

Зовнішні фактори: годівля, утримання, зміна світлового режиму.

Враховуючи це, можна напрямлено впливати на продуктивність птиці. Зокрема, введенням в раціони різних речовин (амінокислот, білків ліпідів, вуглеводів, мінеральних солей, вітамінів) можна поліпшити якість яєць, збільшити тривалість несучості і в результаті підвищити продуктивність курей.

Зміна світлового режиму утримання птиці дозволяє одержати яйце в потрібні періоди року, тобто керувати сезонністю та рівнем продуктивності.

Внутрішні фактори: породність, лінійність, вік.

Вміло використовуючи ці фактори, можна довести середню несучість курки-несучки до 280-300 штук і більше яєць на рік, одночасно зменшивши витрати на їх виробництво.

Під час зберігання у яйцях виникають *процеси* різної природи, які негативно впливають на якість яєць.

Фізичні процеси: усушка – випаровування вологи крізь пори шкаралупи, внаслідок чого зменшується маса яйця та збільшується висота пуги; дифузія води з білка в жовток; при цьому жовток рідне, збільшується в об’ємі, відхиляється від центрального положення (градинки провисають чи обриваються) або навіть прориває жовткову оболонку.

Біохімічні процеси: автолітичні, мікробіальне псування, окисне псування, усихання.

Автолітичним змінам піддаються всі основні фракції яйця: вуглеводна, білкова та ліпідна. В умовах низьких позитивних температур автолітичні зміни в яйці можуть бути досить значними. Загальний напрям автолітичних змін у

яйці в своїй основі схожий з автолізом тваринних тканин: це ферментативний розпад складних систем на простіші та розпад високомолекулярних сполук на низькомолекулярні.

Біохімічні зміни, що відбуваються в яйці в період зберігання, тісно пов'язані з втратою вологи, внаслідок чого відбувається перерозподіл води між жовтком і білком і розрідження щільної фракції білка. У міру старіння яєць оболонка жовтка стає більш проникною і вода білка через різницю осмотичного тиску між білком і жовтком переходить у жовток, забираючи з собою деяку кількість мінеральних солей. В результаті переміщення води і солей з білка в жовток значно змінюються їх фізико-хімічні властивості як колоїдних систем. Відбувається збільшення об'єму жовтка, розширення і стоншення жовткової оболонки, внаслідок чого вона втрачає еластичність.

Білок свіжознесеного яйця має нейтральну реакцію, але під впливом різних чинників швидко змінюється. Вже в перший тиждень зберігання в звичайних умовах реакція середовища яйця стає слаболужною, потім лужною.

Внаслідок гідролітичного розпаду білків у яйці збільшується вміст вільних амінокислот і інших низькомолекулярних азотовмісних сполук. Спостерігається повільне поступове розрідження білка. Дуже швидко розпадаються фосфопротеїди і фосфатиди до простіших сполук фосфору. Вже через 8 місяців за температури близько 10°С їх вміст у білку в десятки разів більший за початковий.

Жир, що міститься в яйці, хоч і поволі, гідролізується протягом усього часу зберігання яйця. Невелике збільшення кислотного числа жиру спостерігається вже до кінця третього місяця зберігання.

З часом у яйці зменшується вміст деяких вітамінів: значно зменшується вміст вітаміну B_6, особливо нестійким є вітамін А.

Автолітичні процеси посилюються з підвищенням температури.

Цілісне яйце порівняно стійке до дії на нього мікробів, тому його можна зберігати тривалий час за невеликих позитивних температур. Під час тривалого зберігання яєць або при зберіганні їх у несприятливих умовах розвиваються гнильні процеси під дією мікроорганізмів, що проникли крізь пори яйця. В яйці

під дією ферментів гнильних мікроорганізмів утворюються сірководень, аміак, низькомолекулярні кислоти, метан, скатол, індол та ін.

На властивості яєць під час їх зберігання істотно впливає волого- і газообмін із зовнішнім середовищем. Спостерігається усихання, яке залежить від тривалості зберігання яєць, температури та вологості навколишнього середовища, кількості пор на шкаралупі. Проникність шкаралупи яєць для повітря однакова як зсередини, так і зовні, вода ж всмоктується всередину яйця майже в два рази повільніше, ніж випаровується. Під час усихання збільшується повітряна камера (пуга), підвищується концентрація розчинів солей, внаслідок чого погіршується якість яєць.

Під час зберігання зменшується маса яєць і збільшується сухий залишок. Щільність свіжого курячого яйця коливається в межах 1,078-1,096. Через 3 місяці зберігання в холодильнику щільність яйця змінюється до 1,059, через 5 місяців – до 1,049, через 8 місяців – до 1,036. Щільність, що дорівнює 1,015, вказує на повне розкладання яйця.

Взаємодія вмісту яйця з киснем повітря супроводжується погіршенням його органолептичних характеристик. Смак і аромат яйця з розвитком цих процесів набувають характерного відтінку («лежалого»), спочатку в жовтку, а потім і в білку.

Незапліднені яйця, а також яйця весняної та осінньої кладки зберігаються довше. Забруднені і миті яйця зовсім непридатні до зберігання, що пов'язано з будовою яєчної шкаралупи.

Звести до мінімуму втрати вологи при зберіганні і зберегти яйця від небажаних змін можна, знизивши температуру до мінус 3°С.

Для тривалого зберігання яєць необхідно призупинити діяльність мікроорганізмів і розвиток автолітичних процесів за допомогою зниження температур. Крім того, необхідно запобігти проникненню мікробів у яйце через пори шкаралупи, захистити від волого- і газообміну. Для цього під час зберігання яєць застосовують покриття їх штучними оболонками, а також короткочасне теплове оброблення. При цьому властивості яєць не змінюються, але тонка плівка білка під шкаралупою коагулює і закупорює шкаралупу

зсередини. Збагачення атмосфери на вуглекислий газ поліпшує холодильне зберігання яєць.

Мікробіологічні процеси – псування яєць внаслідок проникнення мікроорганізмів крізь пори шкаралупи (у першу чергу, такому псуванню піддаються яйця з забрудненою шкаралупою). Причому бактерії виробляють ферменти, які розчиняють підшкаралупну оболонку й проникають у середину яйця, піддаючи його псуванню (технічний брак). Внаслідок більш глибоких змін розкладаються жири, вуглеводи з накопиченням газів, які руйнують шкаралупу. В результаті забруднюється і уражається багато інших яєць

Питання для контролю і самоперевірки

1. Харчове значення яєць.
2. Будова та хімічний склад різних частин яйця птиці.
3. Біосинтез складових частин яйця.
4. Вплив різних факторів на якість яєць.

6.5. Біохімія шкіри і шерсті

Будова та хімічний склад шкіри. Шкіра – зовнішній покрив тіла тварин і людини. Вона виконує життєво важливі функції: бар'єрну, рефлекторну, видільну, дихальну, терморегуляторну, біосинтетичну, депо крові, адсорбційну. У великої рогатої худоби на шкіру припадає 6-8 % загальної маси, в овець (без руна) – 5-1%.

Шкіра складається з епідермісу, дерми і підшкірної клітковини. В епідермісі є чотири шари: *роговий; блискучий; зернистий; продукуючий.*

Дерма має два шари – сосочковий і сітчастий.

Товщина шкіри в різних ділянках організму неоднакова. Це залежить від виду, породи, віку, умов годівлі і утримання тварин.

Шкіру використовують для виготовлення одягу, взуття, галантерейних виробів.

Серед похідних шкіри особливе значення має волосяний покрив – шерсть. Вона використовується в текстильній промисловості. Її найчастіше одержують з овець, менше – від кіз, кролів, верблюдів, лам, собак та ін.

Шкіра містить 65-76% води і 24-35% сухого залишку (сюди входять білки, вуглеводи, ліпіди та інші речовини).

Білки. Становлять 86% сухого залишку. Основними білками шкіри є колаген, еластин, кератин, альбуміни, глобуліни, ДНП, РНП.

Основою епідермісу є кератин. Він становить 2/3 маси рогового шару, характеризується високою стійкістю проти температури та хімічних впливів.

В дермі вміст білків такий: 99% – колаген; 0,1% – еластин; 0,4-1,9% – альбуміни і глобуліни; 0,4% – інші.

У шкірі також є ферменти всіх шести класів.

Небілкові азотисті речовини. Становлять 17-19% загального азоту шкіри. Представлені пептидами, амінокислотами, ДНК та РНК, сечовиною, сечовою кислотою, аміаком та його солями, креатиніном, пігментами.

Вміст залишкового азоту в шкірі зростає при різних патологічних процесах(дерматитах, травмах, лишаях, екземах).

Вуглеводи. На долю вуглеводів у шкірі припадає 1-2%. Це моносахариди, гомо-і гетерополісахариди, продукти їх метаболізму (глікоген, глюкоза, пентози, ПВК). Шкіра – депо вуглеводів. В шкірі травоїдних тварин вуглеводів більше, ніж у м’ясоїдних.

У шкірі спостерігається пошарова локалізація вуглеводів: найбільше глікогену зосереджено в епідермісі; в дермі переважають глікозамінглікани.

Ліпіди. Шкіра містить різні групи ліпідів і продукти їх метаболізму: 15% ліпідів епідермісу представлені холестерином; основна маса ліпідів епідермісу – фосфатиди; ліпіди підшкірної клітковини представлені переважно тригліцеридами; сальні залози характеризуються високим вмістом стеринів і стеринів; у шкірі овець виявлено 33 жирні кислоти, 40% яких припадає на пальмітинову, стеаринову і церотинову кислоти.

Ліпідний склад змінюється при багатьох шкірних хворобах (наприклад, при псоріаза).

Вітаміни. В шкірі проходить біосинтез вітаміну $Д_3$, вміст якого 3,3 мкг на 1г. Також в шкірі містяться вітаміни С, B_1, B_2, РР, B_6, B_{12}, Н, ПАБК, холін, інозит, А.

Мінеральні речовини. Їх вміст складає приблизно 1%. Шкіра – депо Натрію, Калію, Кальцію, Фосфору, Сульфуру, Феруму. Натрій міститься переважно в міжклітинній рідині (у вигляді хлоридів); Калій – у клітинах; Фосфор – у складі РНК, ДНК, фосфатидів; Сульфур – в молекулах кератину, цистеїну, цитстину, глутатіону; Ферум – в мітохондріях.

Обмін речовин у шкірі. Для шкіри характерний обмін речовин, типовий для обмінів інших органів. Але, крім того, для шкіри характерні особливості обміну речовин, зумовлені її багатогранними функціями.

Обмін білків. У клітинах шкіри, крім верхніх шарів епідермісу, верхніх шарів волосяних фолікулів і центральних ділянок сальних залоз, безперервно синтезуються білки. Основним матеріалом для біосинтезу білків є амінокислоти, що надходять з током крові. Частина амінокислот виникає під час пере амінування. Про наявність цих процесів свідчить висока активність ферментних систем.

Для білків характерний високий ступінь катаболізму, про що свідчить рівень залишкового та амінного азоту і особливо азоту сечовини та аміаку. В шкірі, особливо в її потових залозах, функціонує орнітиновий цикл.

Обмін вуглеводів. У шкірі функціонують ферментні системи, які синтезують глікоген (фосфорилаза, аміло-1,6-глюкозидаза). У дорослих тварин синтез і розпад глікогену відбуваються з однаковою швидкістю. У шкірі функціонують гліколіз і глікогеноліз, цикл три карбонових кислот і пентозо-фосфатний шлях. Деяка частина глікогену і декстринів розщеплюється амілазою і мальтазою.

Шкірне дихання. В ході обміну вуглеводів, ліпідів та інших речовин утворюється АТФ та її аналоги, поглинається кисень і утворюється вуглекислий газ, вода та інші сполуки.

Об’єм газообміну через шкіру у тварин незначний – в межах 1% загального газообміну. Інтенсивність шкірного дихання зростає при збільшенні температури середовища і м’язовій роботі. Людина при 30ºС щодобово через шкіру виділяє 7,0-9,0 г вуглекислого газу і поглинає 3-4 г кисню.

Обмін ліпідів. Ліпіди шкіри мають різне походження: частина синтезується в клітинах шкіри за рахунок речовин, що надходять з током крові (гліцерину, ВЖК, холестерину); частина (переважно тригліцериди) надходять для депонування в підшкірній клітковині в готовому вигляді.

Для шкіри характерний високий рівень активності ліполітичних ферментів.

Обмін вітамінів. Шкіра – орган, найчутливіший до нестачі, відсутності або надлишку окремих вітамінів. В шкірі проходить біосинтез вітаміну Д.

Він здійснюється в два етапи: спочатку під впливом НАДФ-залежної 7-дегідрохолестеринредуктази в ядрі холестерину утворюється другий подвійний зв'язок і виникає 7-дегідрохолестерин; потім під впливом ультрафіолетового випромінювання в глибоких шарах шкіри утворюється ще один подвійний зв'язок і формується молекула вітаміну.

Пігментний обмін. Основний пігмент шкіри – *меланін.* Він визначає забарвлення шкіри, волосся, шерсті і захищає організм від надлишку УФ-опромінення. Меланін утворюється в меланоцитах. Меланін утворюється з тирозину.

У клінічній практиці досить часто трапляються злоякісні пухлини, надмірно багаті на меланін, – меланоми.

Видільна функція шкіри. В шкірі розміщені потові і сальні залози.

Потовиділення – утворення поту і виділення його на поверхню шкіри потовими залозами. Виражене у людини, мавп, копитних, майже відсутнє у гризунів, наземних хижаків, нижчих ссавців.

Забезпечує стабільну температуру тіла і підтримує на певному рівні водний і сольовий обміни. У потових залозах функціонують ферментні системи, які знешкоджують аміак.

Потовиділення має велике значення при захворюваннях нирок і печінки, оскільки потові залози допомагають функції цих органів.

Піт – безбарвна рідина, солонувата на смак. У коня і м’ясоїдних тварин pH поту кисле, у жуйних – слаболужне. Кількість і хімічний склад поту залежить від виду, віку, породи, температури середовища, експлуатації, раціону тварин.

Хімічний склад поту: вода – 94,38%; мінеральні солі (з них 0,3-0,5% NaCl); органічні сполуки (сечовини до 0,1%, сечової кислоти, креатиніну).

Хімічний склад поту змінюється при патологічних станах.

Шкірне сало – продукт діяльності сальних залоз. Воно захищає шкіру та її похідні від висихання і потрапляння в організм надлишку вологи, мікроорганізмів, отруйного пилу тощо.

В сальних залозах інтенсивно функціонують ферментні системи, що синтезують ліпіди, а також ферменти біосинтезу і розщеплення глікогену.

Особливий інтерес становить змішаний секрет потових і сальних залоз у овець – жиропіт. Він захищає вовну від надлишку вологи і забруднень, надає їй міцності і м'якості, бере участь в утворенні руна. Його одержують після відмивання вовни. З жиропоту добувають ланолін – основу для приготування лікувальних мазей та косметичних засобів.

Склад жиропоту: вода – 32%; ліпіди – 50%; інші сполуки – 18%.

Реакція середовища шкіри. У більшості тварин_pH дерми становить 7,4-7,6; pH продукуючого шару епідермісу – 7,0-7,4; pH зернистого шару – 7,0-6,7; pH блискучого шару – 6,0-5,5; pH рогового шару – 5,0-3,0; pH підшкірної клітковини – 6,95-7,40. Зміщення pH шкіри в лужний бік сприяє виникненню грибкових і бактеріальних захворювань.

Будова та хімічний склад шерсті. Шерсть – волосяний покрив шкіри ссавців. Найчастіше її одержують від овець (в середньому за рік від однієї вівці настригають близько 5 кг вовни, з якої можна виготовити 5 м тканини.

У складі шерсті вирізняють ость, перехідне волосся, пух. Структурна одиниця шерсті – *волос. Руно* – шерсть овець, крім криючого волосся на голові, кінцівках, животі і мошонці. Пучки шерсті, які утворюють руно, називаються *штапелями.* Руно грубошерстих овець утворене *косицями.*

Хімічний склад шерсті. *Елементарний склад вовни вівці:* C – 50%; O_2 – 21-24%; N – 15-21%; H – 6-7%; S – 2-5%; інші елементи – 1-3%. Хімічний склад залежить від породи, віку, сезонних особливостей.

Основою шерсті є кератин (99%). 1% становлять ліпіди, вуглеводи, інші органічні і мінеральні речовини.

До складу кератину входять залишки 20 амінокислот.

Кератин має дві фракції – фібрилярну та аморфну. Фібрилярна фракція складається з важких білків з помірним вмістом залишків цистину (М = 50000-60000); аморфна – з легких пептидів (М < 30000) з високим вмістом залишків цистину (до 30%). Співвідношення між аморфною і фібрилярною фракціями – 1 : 3.

Розвиток волосся починається з клітин ектодерми. В результаті їх поділу і диференціювання утворюється волосяний фолікул, сальні і потові залози. Далі формується сполучнотканинний мішечок і волосяний сосочок. До них від основи шкіри проникають капіляри, від нервового сплетіння – нервові закінчення.

Перші зачатки волосяних фолікулів у вівці з'являються на 50-70 добу ембріогенезу, а на кінець третього місяця видно зачатки волосин. У шкірі новонароджених ягнят кількість волосся становить 22-30% загальної кількості волосся дорослих овець, волосяних фолікулів – 47-56%.

Матеріал для біосинтезу складових частин волосу надходить з током артеріальної крові. Волосяні фолікули містять багато нуклеїнових кислот, амінокислот, білків, вуглеводів, а також продуктів їхнього метаболізму.

Основне джерело хімічної енергії для утворення шерсті – жирні кислоти і ацетил-КоА, частково – глюкоза.

Деяка кількість глюкози йде на біосинтез глікогену клітин волосяних фолікулів, ліпідів, амінокислот та інших сполук. Глікоген депонується в клітинах волосяних фолікулів перед початком розвитку волосу, потім його вміст зменшується і з припиненням росту волосу він зникає зовсім.

Розщеплення вуглеводів відбувається інтенсивно, про що свідчить висока активність ферментних систем гліколізу, глікогенолізу, ЦТК, пентодного шляху.

Для волосяного фолікулу характерний інтенсивний ліпідний обмін. Серед ліпідів найбільше міститься фосфатидів, стеридів, стеринів, тригліцеридів, ВЖК.

Цікавим є процес заміни волосся (линяння). В цей період у волосяному сосочку припиняється кровообіг. Це призводить до припинення розмноження клітин у волосяній цибулині, вона роговіє і разом з волосиною випадає. Одночасно розвивається новий волосяний фолікул, потім – волосяна цибулина і нова волосина.

Линяння є: сезонне, вікове, компенсаторне. Строки линяння можна змістити під впливом факторів годівлі, утримання, регулювання тривалості світлового дня.

Продуктивність шерсті – результат діяльності всього організму. На її величину можна впливати різними факторами: добирання порід, найбільш продуктивних в даній зоні; склад раціону (додавання мікроелементів); ін'єкції гормональних препаратів (наприклад, ін'єкція соматотропіну яркам протягом 60 діб дає змогу збільшити ріст шерсті на 38,7%).

Питання для контролю і самоперевірки

1. Функції шкіри в організмі тварин і людини.
2. Особливості хімічного складу шкіри тварин.
3. Обмін речовин у шкірі. Шкірне дихання.
4. Видільна функція шкіри. Хімічний склад поту.
5. Хімічний склад шерсті.
6. Механізми синтезу складових компонентів шерсті.

6.6. Біохімія меду та інших продуктів бджільництва

Хімічний склад меду. **Бджолиний мед** – густа і в'язка рідина, продукт переробки бджолами нектару з квітів медоносних рослин чи виділень рослинного (медвяна роса) або тваринного (попелиць, тлі та інших комах) походження.

На сьогоднішній день у натуральному медові різного походження встановлено більше 400 компонентів, які роблять його висококалорійним продуктом харчування з оригінальним ароматом і смаковими властивостями. Крім того, в медові є багато речовин, які зумовлюють ефективне використання його як лікувального засобу.

У медах в середньому міститься 20% води, близько 74% цукрів та 5% інших речовин. Основою складу меду є інвертний цукор (глюкоза + фруктоза, рис.6.1).

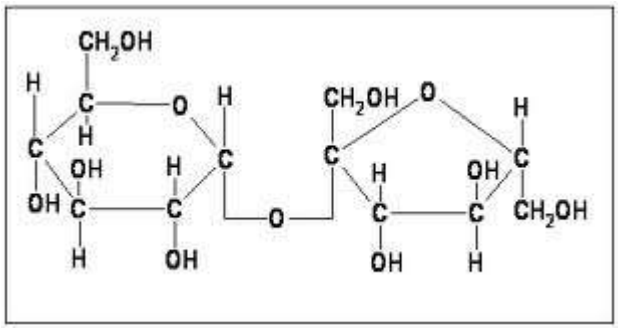


Рис. 6.1. Інвертний цукор – суміш глюкози і фруктози

Серед цукрів меду виявлено понад 40 індивідуальних представників (38% – фруктози, 37% – глюкози, 5% – декстринів і 2-5% – сахарози тощо). Мед, отриманий шляхом підгодівлі бджіл цукровим сиропом, містить в собі до 25% сахарози. Співвідношення глюкози і фруктози в медові визначає його фізичний стан. Із збільшенням вмісту глюкози в медові підвищується його кристалізаційна здатність. Мед з великим вмістом фруктози більш солодкий і гігроскопічний. Усі редукуючі цукри у водних розчинах знаходяться в ізомерних формах, найчастіше це альфа- і бета-форми. Співвідношення цих цукрів залежить від виду рослин, з яких бджоли збирали нектар, і від рівня кристалізації нектару. Тому за співвідношенням – глюкоза-фруктоза – можна встановити ботанічне походження меду, його натуральність.

Інші речовини меду (5% їх загальної маси) представлені різноманітними органічними і мінеральними сполуками. Органічні сполуки меду можуть бути азотисті і безазотисті. Кількість азотистих сполук у складі меду становить близько 2% його загальної маси. Основу азотистих сполук меду становлять білки – 0,08-1,9% (в середньому 0,5%) від загальної маси меду.

Білкові речовини меду (0,1-2,0%) знаходяться в колоїдному стані. Цим перш за все зумовлена мутність меду, його потемніння при нагріванні. Білкові компоненти меду відіграють важливу роль в процесах його дозрівання (кристалізації). Окрім того, білки і вільні амінокислоти меду, формуючи його склад, зумовлюють характерний лише цьому продукту специфічний медовий

аромат. При тривалому зберіганні ферменти руйнуються (старіють), а тому мед втрачає аромат.

З азотистих сполук у медові найбільше вільних амінокислот(10-15%). Їх кількість перевищує вміст зв'язаних (білкових) амінокислот удвічі. Важливо зазначити, що кількість вільних амінокислот в 100 г нектару і меду однакова, а кількість зв'язаних амінокислот у 100 г нектару значно більша (1204 мг), ніж в 100 г меду.

З амінокислот в меді найчастіше зустрічаються 13-18 представників: аланін, аргінін, аспарагінова кислота, валін, гліцин, гістидин, глутамінова кислота, ізолейцин, лейцин, метіонін, лізин, пролін, серин, треонін, тирозин, фенілаланін. Іноді мед може містити β-аланін, ά- і γ-аміномасляні кислоти, орнітин, аміди амінокислот, аспарагін і глутамін. Кількість амінокислот у різних медах становить від 70 до 5000 мкг (у середньому – 400-1000 мк).

Натуральний бджолиний мед містить у собі такі високоактивні ферменти: інвертаза, альфа і бета-амілаза, глюкооксидаза, каталаза, пероксидаза, протеаза, кисла фосфатаза, ліпаза, редуктаза, інулаза, аскорбіноксидаза та інші. Інвертаза сприяє розщепленню сахарози до глюкози і фруктози, діастаза розщеплює крохмаль (складний вуглевод) до більш простих цукрів – дисахаридів. Світлі меди, у порівнянні з медами бурштинових і темних тонів, мають нижчу ферментативну активність.

Мед – харчовий продукт, багатий на вітаміни. Окремі види меду різняться між собою якісним та кількісним складом вітамінів. Наявність вітамінів у медові зумовлена перш за все присутністю в ньому пилку (в 1 г меду є 2000-3000 зерен пилку).

Мед може містити незначні кількості кобаламіну (вітамін B_{12}), фолієвої кислоти (вітамін B_c), філохінону (вітамін К), холіну та деяких інших вітамінів і вітаміноподібних речовин, зокрема провітамінів (каротину, ергостерину тощо). Мед не містить кальциферолу (вітамін Д).

Мед містить різні кількості органічних кислот, що входили до складу нектару та паді і утворились під час його дозрівання в травній системі організму бджіл у вулику: мурашина, масляна, капронова, стеаринова,

пальмітинова, олеїнова, каприлова, лінолева, ліноленова, молочна, оцтова, щавлева, винна, лимонна, яблучна, янтарна, гліколева, піровиноградна та інші. Мед, що забродив, містить більше оцтової кислоти; під дією високих температур, внаслідок розпаду оксиметилфурфуролу в ньому збільшується кількість мурашиної кислоти.

Основу кислот меду складають глюконова, яблучна і лимонна кислоти. В деяких медах на частку глюконової і молочної кислот припадає до 30% загальної кислотності.

Мед містить у собі близько 0,2-0,3% мінеральних речовин (солей Кальцію, Натрію, Магнію, Феруму, Сульфуру, Йоду, Хлору, Фосфору тощо) та мікроелементів (Манган, Силіцій, Алюміній, Бор, Хром, Купрум тощо) у співвідношенні, яке майже не відрізняється від вмісту мікроелементів у людській крові. У темних медах мікроелементів більше, ніж у світлих.

В медах виявляються рідкісні хімічні елементи в дуже малих дозах: Осмій, Берилій, Аурум, Уран, Радій.

Кількість мінеральних елементів у меді виражається зольністю. *Зольність меду* – це вміст мінеральних речовин в 100 г меду після його спалювання. Вона виражається у відсотках.

Різні меди відрізняються між собою вмістом в них окремих макро- та мікроелементів. За вмістом макро- та мікроелементів меди класифікуються на:

• *квіткові* – мають зольність до 0,14%;

• *змішані* (квітково-падеві) – зольність 0,14-0,28%;

• *цукрові* (коли бджіл підгодовують сахарозою) – 0-0,7% (низька зольність).

Зольність окремих медів досягає 1% загальної маси. Зменшення зольності у квіткових медах до 0,1% може бути ознакою їх фальсифікації буряковим цукром (сахарозою).

Аромат меду. Для кожного виду меду характерний свій аромат («букет»). Він зумовлений наявністю великої кількості хімічних сполук (120 і більше). Понад половину з них ідентифіковано:

• спирти (маніт, дульцин, пропанол, бутанол);

•альдегіди (метаналь, етаналь, пропаналь, метилпропаналь, метилбутаналь);

• кетони(ацетон, метиетилкетон);

• карбонові кислотами (мурашина, оцтова, глюконова);

• естери (оцтовоетиловий, оцтовоаміловий).

Аромат багатьох медів зумовлений наявністю в їхньому складі метилантранілату. Особливо багаті на цю сполуку цитрусові меди – 1 г меду містить 1600-4900 мкг (300 мкг у інших медах). У формуванні ароматного букету меду окрім вище вказаних хімічних сполук беруть участь цукри, глюконова кислота, пролін, оксипролін.

Колір різних видів і сортів меду залежить від наявності в них пігментів (каротинів, хлорофілів, ксантофілів, флавонів).

У складі окремих медів є таніни, сапоніни, ефірні олії (50-80 мкг на 1г), холін (до 60 мкг на 1г), ацетилхолін (0,06-5,0 мкг на 1 г), гліцерофосфати, глюкозо-6-фосфат, фосфогліцеринові ефіри, домішки алканів, стеролів, гліцеридів тощо.

Фізико-хімічні властивості меду. *Агрегатний стан.* Зрілий мед рано чи пізно кристалізується, тобто переходить у твердий стан. При цьому в осад випадає глюкоза або мелізитоза. Найвища швидкість кристалізації спостерігається при температурі 13-14ºС. Підвищення або зниження температури уповільнює кристалізацію меду. Соняшниковий мед кристалізується значно швидше, ніж мед акації. Повільно кристалізуються різновиди медів, багаті фруктозою, вищими олігосахаридами, білками (мед з білої акації, шалфею, каштану, деякі зразки падевого меду). Швидко кристалізується, іноді прямо в сотах, мед з високим вмістом глюкози і мелізитози (мед з кульбаби, осоту, ріпаку, гірчиці, еспарцету, соняшнику.

За характером кристалізації, яка визначається розміром кристалів, мед буває салоподібний, дрібнозернистий, крупнозернистий.

Колір меду залежить від вмісту в ньому жиро- і водорозчинних пігментів. При цьому жиророзчинні пігменти (похідні каротину, ксантофілу і хлорофілу) надають світлим медам жовтуватого або зеленуватого відтінків; водорозчинні

пігменти (антоціани, таніни) зумовлюють відтінки темних медів. При тривалому зберіганні і нагріванні в ньому збільшується вміст меланоїдинів, які надають такому меду темно-коричневого забарвлення.

Смак. Мед на смак солодкий. Його солодкість і присмак залежить від цукристості нектару і паді. Кислий присмак типовий для меду, який забродив. В ньому багато масляної, капронової, валеріанової та інших кислот. Більшість різновидів меду відносять до *помірно солодких*. Зустрічаються *приторні* різновиди меду: з лісового різнотрав'я, конюшини, лучного різнотрав'я, гречки, польового різнотрав'я, фруктових садів, білої акації. Є і *малосолодкі* меди (з буркуну, бавовнику, більшість зразків падевого меду) і такі, що дають *відчуття гіркоти* (мед з каштану, тютюну тощо).

В'язкість меду. Доброякісний мед, як правило, густий і в'язкий. Мед з вологістю 18% має в'язкість 6,064.

На в'язкість меду виявляють вплив такі його компоненти, як вода, колоїдні речовини, цукри тощо. Чим більше води, тим менша в'язкість меду. Зменшується вона і при збільшенні в медові вмісту фруктози, а також при збільшенні його температури. Так, в'язкість меду, який тільки що вийняли з вулика в чотири рази менша від вязкості такого ж різновиду меду, що знаходиться при кімнатній температурі. Температурний чинник належить враховувати при відкачуванні меду зі стільників, фільтрації та розливанні меду в дрібну тару. В'язкість деяких медів (вересового) можна знизити сильним струшуванням під час викачування.

Важливим показником, що характеризує в'язкість меду, є коефіцієнт внутрішнього тертя (коефіцієнт динамічної в'язкості). Цей показник меду залежить від температури, вмісту води, білків, олігосахаридів.

В'язкість меду є важливим показником його зрілості. При цьому зрілість меду визначають за швидкістю його стікання з ложки: зрілий мед накручується на ложку при її швидкому обвертанні, незрілий – швидко стікає і накрутити його на ложку дуже важко.

За в'язкістю мед буває *дуже рідкий* (з акації, конюшини), *рідкий* (з липи, гречки, іван-чаю), *густий* (з кульбаби, соняшника) і *драглистий* (вересковий).

*Гігроскопічність меду***.** Мед може зворотньо обмінюватись вологою з повітрям і матеріалом тари. Рідкий мед з вмістом 17,4% води і при відносній вологості повітря 58% знаходяться в стані рівноваги. При більшому вмісті води в медові він буде віддавати її повітрю, при меншому – вбирати.

Гігроскопічність меду зумовлена, перш за все, високим вмістом цукрів. В рідкому стані мед має більшу гігроскопічність, ніж в твердому. Висока гігроскопічність меду використовується в кондитерській промисловості при виготовленні виробів з борошна (печива, кексів тощо); її належить враховувати при затарюванні, зберіганні і промисловому використанні меду. Щоб мед не вбирав у себе воду з деревини, його необхідно затарювати в діжки з вологістю деревини не більше 16%.

Питома вага меду знаходиться в прямій залежності від вмісту в ньому води: чим більше води, тим більша щільність. Питома вага меду при 15°С з вмістом 16% води – 1,443, при 20°С – 1,431; при 20%-ному вмісті води і температурі 15°С питома вага меду становить – 1,409, при 20°С – 1,397.

Загальна кислотність меду характеризує наявність в складі меду кислот корму, бродіння і дозрівання. Кислотність меду визначають кількістю 0,1 нормального розчину натрій гідроксиду, витраченого на титрування 100 г меду при індикаторі фенолфталеїні.

На другу добу дозрівання меду його загальна кислотність дорівнює 2,7, на четверту добу – 14,0 $\pm$ 0,3, на восьму добу – 13,4 $\pm$ 0,1 одиниць.

Активна кислотність меду становить в середньому 4,1 одиниці pH. pH квіткового меду коливається в межах від 3,2 до 6,5, для падевого – 3,7-5,6. Активна кислотність медів різного ботанічного походження неоднакова: липового – 4,5-7,0, соняшникового – 4,15, білоакацієвого – 4,11, буркунового – 3,95, еспарцетного – 3,85, малинового, фоцелієвого – 3,80.

Буферні властивості меду (здатність зберігати постійне pH при додаванні кислоти або лугу) характеризуються величиною його буферної ємності. *Буферна ємність меду* характеризується кількістю грам-еквівалентів лугу чи кислоти, яку потрібно витратити на 1дм^3 буферного розчину, щоб змінити його pH на одну одиницю. Для визначення буферної ємності меду використовують

0,1 молярний розчин NaOH, титруючи ним розчин меду до зміни pH на 1 одиницю. Кількість NaOH, яка пішла на титрування, виражають в г/екв. Обчислення проводять за формулою:

$$B = \frac{\text{г-екв. NaOH}}{pH_2 - pH_1}$$, де:

B – буферна ємність; г-екв NaOH – кількість лугу ($см^3$), витраченого на титрування; pH_1 – pH суміші, що титрується; pH_2 – pH після титрування. Буферна ємність меду за кислотою складає в середньому 28,6 м-екв/кг, за лугом – в середньому 14,4 м-екв/кг в перерахунку на безводний залишок меду.

Виготовлення меду бджолами. Зібраний бджолами нектар в організмі робочих бджіл зазнає переробки органами травного каналу. Для виготовлення 1 кг меду бджола повинна принести у вулик близько 150000 взяток нектару. Для цього бджола збирає нектар з 10 млн квіток і долає відстань близько 400000 км.

Переробка нектару – складний фізіологічний та фізичний процес. Він полягає у випаровуванні води (вміст її в медові не повинен перевищувати 18-20%) і розщепленні (гідролізі) сахарози до глюкози і фруктози.

Сукупність фізичних і хімічних перетворень, які відбуваються з нектаром паддю в процесі виготовлення меду, називається дозріванням меду. Фізико-хімічні перетворення починаються вже після надходження нектару в хоботок бджоли, а з хоботка – в зобик. До власних ферментів нектару додаються ферменти органів травлення.

Перетворення сировини на мед починається вже в ротовій порожнині, де на нектар діє секрет слинних залоз. Після цього суміш надходить через глотку і стравохід у медовий шлуночок.

Тут відбувається початкове перетравлення медової сировини (корму). Частина нектару або паді йде на потреби харчування бджоли. Решта корму поступає у проміжну, середню і задню кишки. Під впливом протеолітичних ферментів складні білки корму розщеплюються на прості білки і простетичні групи, які, в свою чергу, гідролізуються до поліпептидів, дипептидів та амінокислот.

Ліполітичні ферменти розщеплюють ліпіди до простих складових частин – спиртів (гліцерину, інозиту, сфінгозину), жирних кислот, ортофосфатної кислоти, азотистих основ.

Складні вуглеводи (полісахариди) розщеплюються до олігосахаридів і моносахаридів. Разом з нектаром в органи травлення надходять вітаміни, мінеральні сполуки та інші речовини. Прості продукти гідролізу всмоктуються слизовою оболонкою кишкового каналу, потрапляють у гемолімфу, після цього використовуються клітинами, тканинами, органами і організмом бджоли в цілому для структурних, енергетичних та інших потреб. Неперетравлені рештки корму через анус виділяються у зовнішнє середовище.

У зв'язку з тим, що основою нектару або паді є вуглеводи, то під час дозрівання меду насамперед вони зазнають головних біохімічних змін, спрямованих на утворення складових частин меду. *Хімічні процеси протікають у трьох напрямках*.

1. Гідролітичне розщеплення (інверсія) сахарози на глюкозу і фруктозу під дією альфа- або бетаглікозидаз (інвертаз):

Сахароза + вода → глюкоза + фруктоза

2. Гідролітичне розщеплення полісахаридів корму до олігосахаридів під впливом тих же ферментів, що призводить до утворення декстринів (аміло-, еритро-, ахро-, мальтодекстринів) та деякої кількості мальтози (полісахаридами нектару є крохмаль, інулін, а в деяких випадках і глікоген):

$$(C_6H_{10}O_5)_n + H_2O \rightarrow (C_6H_{10}O_5)_x + H_2O \rightarrow yC_{12}H_{22}O_{11}$$

Крохмаль Декстрини Мальтоза

3. Ферментативне відщеплення від новоутворених сполук (олігоз) молекул глюкози або фруктози:

$$(C_6H_{10}O_5)_x + H_2O \rightarrow (C_6H_{10}O_5)_{x-1} + C_6H_{12}O_6$$

Декстрини Глюкоза або фруктоза

В результаті таких реакцій зменшується кількість сахарози, збільшується вміст простих цукрів, виникає цілий набір сахаридів (до десяти, а іноді і більше, представників). Ще незрілий рідкий мед бджоли дрібними крапельками розкладають по стінках комірок стільника і добре вентилюють вулик. Загуслий мед бджоли складають у комірки спочатку на 1/3 їх обсягу, згодом, при зменшенні вологості до норми, заповнюють комірки повністю і запечатують восковими кришечками. В ході дозрівання стабілізується теплопровідність, теплоємність, електропровідність, гігроскопічність меду та його здатність кристалізуватися. Стабілізується також хімічний склад меду. При цьому встановлюється типовий для меду водневий показник 4,0-4,1, іноді в меді зменшується кількість вітаміну С (до 60%). Дозрівання меду відбувається упродовж 3-8 діб. Після завершення дозрівання стільники закриваються кришечками.

Для меду існують константи, які характеризують його якісні показники та зрілість.

Діастазне число показує рівень розщеплення крохмалю, інуліну, декстринів та інших полісахаридів незрілого меду під впливом його ферментів – ά і β-амілаз. Величина цього показника визначається кількістю 1%-ного розчину крохмалю, який розщеплюється амілазами в 1 г меду (в перерахунку на суху речовину) упродовж години при температурі 40 $\pm$ 1°С до речовин, що не забарвлюються розчином йоду в синій колір (еритродекстрини, ахродекстрини, мальтодекстрини і мальтоза). Після дводобового дозрівання меду його діастазне число становить 5,6 $\pm$ 0,4 одиниць Готе, чотирьохдобового – 7,4 $\pm$ 0,2 одиниць Готе, восьмидобового – 12 $\pm$ 0,7 одиниць Готе (за прізвищем вченого, що запровадив метод).

Ще однією важливою константою, що характеризує зрілість меду, є *інвертазне число***.** Одиниця активності ферменту інвертази відповідає розщепленню 1 г сахарози упродовж години інвертазою, що міститься в 100 г меду при оптимальному значенні температури і pH (інвертаза розщеплює сахарозу на глюкозу і фруктозу). Після двох діб дозрівання інвертазне число меду дорівнює 126, чотирьох діб – 211, восьми діб – 318.

Висококонцентровані цукри меду уповільнюють (пригнічують) розвиток мікроорганізмів і гальмують перебіг процесів бродіння. Цим забезпечується тривале зберігання меду без змін його хімічного складу і фізико-хімічних властивостей.

Іноді застосовують так зване штучне дозрівання меду. Воно зводиться до видалення надлишку води в умовах, які сприяють її випаровуванню. Але цей процес суттєво відрізняється від нормальної вуликової обробки меду бджолами. Тому штучно дозрілий мед менш цінний як дієтичний і лікувальний продукт.

Зберігання меду. Зрілий мед зберігає свої харчові і лікувальні властивості досить довго. В одній з єгипетських пірамід археологи знайшли глиняний посуд з медом, який зберігався більше ніж 3000 років. Завдяки антимікробним властивостям він майже не втратив своєї цінності.

Мед дуже гігроскопічний, тому зберігати його потрібно в сухому, прохолодному місці. При зберіганні меду у вологому середовищі він поглинає вологу тари або вбирає вологу з повітря і закисає. Найкращою для зберігання меду є температура від +5°С до +10°С. При більш високій температурі і високій вологості мед може забродити, а при мінусовій температурі в ньому руйнуються вітаміни і амінокислоти, втрачається запах, змінюється колір, погіршується якість. На світлі мед темніє, втрачає свої лікувальні властивості. Тому його належить зберігати в темному місці.

Банки для меду мають бути абсолютно чистими. Не можна заливати свіжий мед в місткості із залишками минулорічного меду. Це прискорює його кристалізацію, а інколи спричиняє бродіння. Мед не варто зберігати у приміщенні з речовинами, які мають різкий запах (фарби, паливо, есенції тощо).

При підігріванні на водяній бані (з температурою не вище 40°С) закристалізований мед можна перетворити в рідкий. Порушення технології розрідження та зберігання меду призводить до втрати його якості. Тому закупорений у скляні банки розріджений мед, що продається на стихійних ринках, досить часто є неповноцінним (фальсифікованим) харчовим продуктом.

На холоді мед зменшується за обсягом, в теплі, навпаки, збільшується. Нагрівання меду до 70°С і більше призводить до різкого зниження його якості. В такому медові інактивується інвертаза, руйнуються вітаміни, зникає аромат, знижуються антимікробні властивості і активність амілази, внаслідок розпаду цукрів нагромаджується оксиметилфурфурол тощо.

Біохімічні процеси в меді при зберіганні**.** Відкачаний із стільників зрілий мед з вологістю не більше 20% зберігають у закритій тарі (бочках, банках тощо), стільниковий – в певній упаковці. Якщо цього не зробити, то мед поглинає із зовнішнього середовища вологу, адсорбує пил і сторонні запахи. Сюди потрапляють і мікроорганізми, які знижують бактерицидність меду. Мед псується.

В закритій тарі мед зберігають при відносній вологості 60% і температурі не більше 10^{o}С, в добре вентильованому приміщенні, з сітками на вікнах, щоб у приміщення не проникали оси, мухи та інші комахи.

Якщо мед зберігається при температурі від 10^{o}С до 27^{o}С у вологому приміщенні, він вбирає воду (водніє), бродить. Може бродити мед, що містить понад 21% води, особливо при температурі +11-19^{o}С. Бродіння меду відбувається під дією дріжджів. Це призводить до утворення в медові продуктів бродіння, які роблять його непридатним для їжі.

Під час бродіння меду відбуваються такі хімічні реакції:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3\text{-}CH_2OH + 2CO_2;$$

Глюкоза або фруктоза — Етиловий спирт

$$2CH_3\text{-}CH_2OH \xrightarrow{+O_2} 2CH_3\text{-}\overset{\overset{O}{\parallel}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}} + 2H_2O;$$

Етиловий спирт Оцтовий альдегід

(ацетальдегід)

O

//

$2CH_3$-C + O_2 → $2CH_3$-COOH

\ Оцтова кислота

H

Ацетальдегід

В медові, що забродив, є багато бульбашок вуглекислого газу, внаслідок чого його об'єм збільшується. Такий мед може розірвати бочки або зірвати кришки бідонів чи банок.

Найліпшою для зберігання меду є скляна, дерев'яна (з липи, тополі), глиняна, або з нержавіючої сталі тара. Не можна використовувати під мед ємність з цинку, міді, свинцю, заліза та їх сплавів. Кислоти меду з цими металами утворюють отруйні для людини хімічні сполуки.

Під час зберігання меду в тарі змінюється його колір. Зокрема, в бочках, виготовлених з хвойних дерев (ялини чи сосни), мед набуває смолистого запаху і кольору, з дуба – чорного. Мед, що зберігається в осикових бочках, гіркне. При зберіганні меду в цинковій тарі кислоти меду вступають у реакцію з цинком, що призводить до утворення отруйних солей:

$2CH_3$-COOH + Zn → $(CH_3$-$COO)_2Zn + H_2$

Оцтова кислота Ацетат цинку

В герметичній упаковці, коли тара не вступає у хімічну взаємодію із компонентами меду, він може зберігатися десятки і сотні років, не змінюючи

своїх фізико-хімічних, хімічних, біологічних властивостей, та поживної цінності.

Переважна більшість видів меду, при оптимальних умовах зберігання, через 1,5-2 місяці гранулюється (кристалізується), перетворюючись у зернисту, салоподібну або тверду масу. Процес кристалізації меду зумовлений перенасиченням його глюкозою. Фруктоза меду більш розчинна ніж глюкоза, а тому кристалізується повільніше. Дуже часто фруктоза збирається на поверхні бідона, утворюючи в'язкий шар білого кольору товщиною 1-2 см або ж знаходиться навколо кристалів глюкози в товщі меду.

За розміром кристалів та їх агрегатів мед буває крупнозернистий (розміри кристалів більше 0,5 мм), дрібнозернистий (менше 0,5 мм) і салоподібний (0,04 мм).

Швидкість кристалізації меду залежить від наявності центрів кристалізації (зародкових кристалів глюкози), складу, температури, перемішування меду. Центрами кристалізації, окрім кристалів глюкози, можуть бути пилкові зерна та інші домішки. Кристалізація меду, в якому збільшена кількість фруктози, вищих цукрів та колоїдних речовин, уповільнюється. Такий мед більш клейкий. Незрілий мед з підвищеним вмістом води кристалізується повільно, часто розшаровується на кристалічну і сироподібну частини. При перемішуванні кристали глюкози в більшій мірі контактують з іншими мікрокомпонентами меду. Це пришвидшує кристалізацію.

Споживачам меду потрібно знати, що через 2-3 місяці після закінчення сезону (жовтень, листопад тощо) рідкий мед швидше може бути фальсифікований: він або нагрівався, або забродив, або ж виготовлений на основі цукрового сиропу.

Найбільш сприятливою температурою для кристалізації меду є +14°С, при температурі +27-32°С кристалізація призупиняється, а при +40°С гранули починають розчинятися. Повільно гранулюються акацієвий, шалфейний, падевий меди, швидко – соняшниковий, з гірчиці та люцерни. Мед теплих південних регіонів планети гранулюється швидше, ніж північних.

Характеристика інших продуктів бджільництва. Бджолиний ві́ск – речовина, що виробляється особливими восковими залозами, розташованими на нижній стороні черевця робочої бджоли. На останніх чотирьох нижніх півкільцях помітні оголені частини тіла з блискучою поверхнею. Вони називаються восковими дзеркальцями і служать місцем накопичення тонкого шару воску у вигляді пластинок під час функціонування залоз. Виділяють віск тільки молоді бджоли.

На більшості пасік отримують до 1 кг воску на сім'ю за сезон.

Бджоли будують з воску гніздо у вигляді двосторонніх сотів. Сот складається з шестигранних комірок, повернених дном одне до одного. Комірки перебувають майже в горозонтальному положенні, їх краї дещо припідняті доверху.

Віск у вигляді свіжовідбудованої соти має білий колір, а отриманий після переробки воскової сировини – від світло- до темно-жовтого. На холоді він твердий, крихкий, при нагріванні стає мягким і плавиться. Температура плавлення 62-63°С. Віск легший за воду. Густина його при 15°С 0,956-0,959. Він розчинний в скипидарі, хлороформі, бензині і інших органічних речовинах.

Бджолиний віск знаходить застосування в медицині. Він входить до складу деяких пластирів, мазей, кремів. Віск добре всмоктується шкірою і додає їй гладкого і ніжного вигляду, тому він широко застосовується в косметичній медицині.

Пропо́ліс – смолиста клейка речовина темно-зеленого кольору і гіркого смаку, яку збирають медоносні бджоли з бруньок різних рослин. Легко скачується в грудочки та має приємний специфічний запах, що нагадує запах берези. Згодом прополіс набуває темнішого, навіть чорного забарвлення і стає щільнішим, втрачаючи запах. Є одним із основних продуктів бджільництва.

Прополіс являє собою суміш різних речовин, серед яких переважають зібрані з бруньок (береза, тополя, вільха, верба, каштан), стебел і листків рослин смоли та бальзами. Бджоли приносять клейку масу в корзинках задніх ніг. У вулику до них домішуються віск, квітковий пилок або бальзамисті оболонки пилкових зерен, а також виділення верхньощелепних залоз бджіл.

При добуванні з гнізда в прополіс потрапляють часточки деревини, утеплювальних матеріалів, тіла бджіл. Прополіс бджоли використовують як будівельний матеріал для полірування воскових комірок, склеювання рамок, корпусів, замазування щілин, звуження льоткових отворів, просмолювання внутрішньої поверхні вулика тощо. Завдяки специфічній дії його на мікроорганізми підтримується належний санітарний стан гнізда.

Прополіс має частіше коричневе, зеленувате, буре або сіре забарвлення. Запах його специфічний, смолистий, дуже стійкий, зберігається протягом багатьох років. В залежності від місць збору вираженість і стійкість аромату різна. Смак переважно гіркий, терпкий, деколи пекучий. Консистенція змінюється в залежності від температури.

В прохолодному місці (нижче плюс 15°С) перебуває в твердому стані і здатний кришитись, в бджолиному гнізді (при температурі вище плюс 30°С) – м'який і клейкий. При підігріві в межах 64-69°С стає текучим, а від 80 до 104°С – плавиться. Прополіс важчий за воду (густина 1,11-1,27 г/см^3). В якості розчинників в залежності від призначення можуть бути використані етиловий і метиловий спирт, ефір, ацетон, чотирихлористий вуглець. Добре екстрагує в рослинних і тваринних маслах (при температурі 80-100°С), вазеліні, слабо в воді, молоці, оцтовій кислоті.

Склад прополісу: рослинні смоли (в середньому 55%); бальзами, які містять у вигляді складних сумішей ефірні масла (8%), дубильні речовини (8%), ароматичні альдегіди, фенолокислоти; віск (22%); квітковий пилок (5-11%); механічні домішки. В ньому великий набір мінеральних елементів, містяться вітаміни та інші речовини. До групи біоактивних сполук відносяться флавоноїди з їх антибактеріальними властивостями.

Вихід продукції від однієї сім'ї може становити 50-100 г (буває і 200 г). Висока прополісопродуктівность властива сірим гірським кавказьким бджолам.

Зібрану продукцію формують у валки різних розмірів і зберігають в поліетиленових мішках або скляному посуді.

Заготовлюють прополіс для потреб медицини, ветеринарії та промисловості.

Збирають прополіс протягом усього сезону, зскрібаючи стамескою або іншим інструментом під час огляду бджолиних сімей. Найбільше його отримують в кінці літа, коли бджоли готують гнізда до зимівлі. Порівняно багато прополісу бджоли відкладають біля льотків з внутрішньої сторони вулика.

З прополісу виготовляють спиртові настої, спиртові емульсії, прополісне молоко, прополісне вершкове масло, ефірний екстракт тощо. Прополіс має сильну антимікробну, і стимулюючу дію. Використовують його також для інгаляції. З лікувальною метою препарати прополісу застосовують тільки під наглядом лікаря.

У народній медицині прополіс здавна використовується як лікувальний засіб при лікуванні ран. Має сильно виражену місцеву знеболюючу дію. Анестезуюча (знеболююча) сила 0,25% спиртового розчину прополісу перевершує дію кокаїну в 3,5 рази.

Бджоли́на отру́та (апітоксин, грец. apis – бджола і toxin – отрута) – секрет отруйних залоз бджіл, який вони виділяють при жалінні. Прозора колоїдна жовтувата рідина з різким своєрідним запахом і пекучим гірким смаком. Густа, містить близько 40% сухих речовин. Є одним із основних продуктів бджільництва.

Бджолина отрута містить понад 50 різних речовин і зольних елементів, з них білкових 9. Основним компонентом його є поліпептид мелітин (близько 50% сухої речовини) – дуже отруйний білок з високою молекулярною вагою, що складається з 26 амінокислотних залишків. Пептид апамін, що містить 18 амінокислотних залишків, становить 3,4-5,1%. На частку мініміна, секапіну, дофаміну, норадреналіну та інших пептидів припадає до 16%. Встановлено також вміст гістаміну (0,5-1,7%), який має високу біологічну активність. Важливими компонентами вважаються ферменти фосфоліпаза А (14%) і гіалуронідаза (20%). У невеликій кількості отрута містить жири, стерини, цукри, органічні кислоти. У зольному залишку виявлені магній, кальцій, калій, залізо, цинк, мідь, марганець та інші елементи.

Свіжа бджолина отрута містить від 50 до 70% вологи і являє собою прозору рідину з жовтуватим відтінком і специфічним різким запахом.

Питома вага 1,131 г/см³, реакція кисла (pH розбавленої 100 частинами води від 4,5 до 5,5). На повітрі швидко висихає, перетворюючись у тверду масу. Отрута розчинна у воді, кислотах, водно-гліцеринових сумішах, абрикосовій олії і не розчиняється в спирту. В сухому стані вона стійка і може зберігатись тривалий час, а в нестерильних розчинах – псується. Складові частини руйнуються під дією сильних кислот (азотної, сірчаної), етилового спирту, оксидів, сонячного світла і високих температур (100-110° С і вище). У висушеному вигляді отрута стійка і може зберігатися тривалий час.

Хімічний склад бджолиної отрути дуже складний і остаточно не вивчений. Більшість дослідників представляють бджолину отруту як складний комплекс жироподібних, мінеральних речовин, гістамінів, амінокислот і білків. Бджолина отрута – сильна знезаражуююча речовина: навіть у розведенні 1:50000 вона зберігає стерильність, зовсім не містить мікроорганізмів.

Незважаючи на давнє використання бджолиної отрути в народній медицині, вона майже не знаходить застосування в науковій медицині. Значною мірою це пояснюється хворобливістю ужалень і важкістю дозування при вжаленнях. В наш час фармацевтична промисловість випускає цілий ряд очищених препаратів бджолиної отрути, що вводяться в організм в ін'єкціях, утираннях, інгаляціях тощо. Але вважається, що уведення свіжої отрути дає кращий лікувальний ефект, ніж прийом у вигляді препаратів. Тому лікування ужаленнями широко застосовується в даний час.

Застосування бджолиної отрути в лікувальних цілях основано на її протизапальній, протибольовій і десенсибілізуючій дії. Лікувальна дія її складна. Вона стимулює обмін речовин, утворення червонокрівців і діяльність серцево-судинної системи, викликає зниження кров'яного тиску та вмісту холестерину в крові, поліпшує сон, апетит, гоєння ран, виразок; діє болезаспокійливо і протизапально; має сильні бактерицидні властивості.

Бджолина отрута та її препарати застосовуються при лікуванні ревматизму, невралгій, гіпертонічної хвороби, атеросклерозу, міокардиту,

базедової хвороби, алергічних та трофічних захворювань і уражень периферичної нервової системи.

Протипоказана при хворобах нирок, захворювання печінки та захворювання підшлункової залози, злоякісних пухлинах, тяжких інфекційних захворюваннях та загальному виснаженні організму. Для зменшення дії бджоляної отрут при випадкових укусах бджіл на ушкоджені місця накладають пов'язки з розведеного нашатирного спирту (1 частина спирту на 5 частин води); при тяжкій загальній реакції вводять серцеві (збудні) засоби.

Жало бджоли викликає місцеве запалення і зумовлює виникнення більш-менш серйозних набряків. Загалом, це досить болючий процес. Від кількох сотень укусів людське життя може бути у небезпеці. Дуже небезпечне випадкове проковтування комахи під час їжі або пиття. Від внутрішнього укусу, в дихальних шляхах може утворюватись набряк і існує гостра небезпека задухи. Однак такі випадки трапляються не часто.

При укусі бджоли, молочний сік кульбаби позбавляє болю і опухлості.

Ма́точне молочко – секрет медових бджіл, який використовується ними для годування личинок. Маточне молочко споживається всіма личинками, особливо личинкою, з якої виростає матка.

Бджоли виділяють його спеціальними залозами. Залози функціонують в першу половину життя бджіл, зайнятих внутрішньовуликовими роботами.

Маточне молочко – желеподібна білувато-жовта маса. На відкритому повітрі воно жовтіє, стає коричневим, висихає і втрачає властиві йому якості. В свіжому вигляді молочко містить 2/3 води. В сухій масі від 35 до 58% білків, до 18,7 – жирів, до 27,9 – вуглеводів і 2,31-3,94% золи. В складі молочка багатий набір вітамінів, особливо групи В, наявні ферменти, гормони.

Маточне молочко містить незамінні для людини амінокислоти та вітаміни, проте деякі його корисні властивості втрачаються за кімнатної температури та під дією сонячного світла. Наявне в аптеках маточне молочко повинно зберігатися в прохолодному темномі місці. Його рекомендують дорослим при гіпертонії, розладах травлення, стресах, у післяпологовий період, при себореї шкіри обличчя. Також маточне молочко вживають для поліпшення апетиту,

після важких захворювань, як загально зміцнювальний засіб, для регулювання кров'яного тиску. Під наглядом лікаря препарат маточного молочка можна вживати не лише дорослим, а й дітям і новонародженим.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Органолептична характеристика натурального меду.
2. Хімічний склад меду та його фізико-хімічні властивості.
3. Процеси утворення меду.
4. Біохімічні процеси в меді при зберіганні.
5. Характеристика прополісу, апітоксину, маточного молочка, бджолиного воску.

ТЕМА 7. УМОВНА КЛАСИФІКАЦІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЗА ПРИДАТНІСТЮ ДО СПОЖИВАННЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЧНИМИ І БІОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

7.1. Зниження харчової цінності продукції під час зберігання і переробки .

Структурні зміни складників харчових продуктів під впливом технологічних факторів. У разі недбалого ставлення, недотримання термінів умов транспортування, зберігання й реалізації склад і якість продовольчих товарів значно погіршується. Можуть відбуватися структурні зміни складників харчових продуктів, їхніх фізико-хімічних, органолептичних показників.

Під час зберігання, транспортування і перероблення харчової продукції відбуваються незворотні хімічні перетворення, що призводять до зниження в ній цінності.

Харчова цінність продукту визначається кількістю і співвідношенням нутрієнтів, які містяться в ньому, якісністю й біологічною цінністю, засвоюваністю, смаком, запахом і фізіологічною цінністю, тобто сукупністю всіх корисних якостей продукту.

Біологічна цінність – показник якості харчового білка, що відображає ступінь відповідності його амінокислотного складу потребам організму в амінокислотах для синтезу білка.

Енергетична цінність (калорійність) їжі характеризує частку енергії, яка вивільняється в організмі людини з харчових речовин харчових продуктів для забезпечення його фізіологічних функцій.

За енергетичною цінністю харчові продукти поділяють на:

1. Особливо високоенергетичні – 400-900 ккал/100 г.

2. Високоенергетичні – 250-400 ккал/100 г.

3. Середньоенергетичні – 100-250 ккал/100 г.

4. Низькоенергетичні – до 100 ккал/100 г.

Відповідно до гігієнічних вимог щодо якості і безпеки продовольчої сировини та харчових продуктів, харчова цінність їхніх окремих видів і груп визначається переважно вмістом у кожному з них окремих харчових речовин та енергетичною цінністю.

Для підвищення безпеки і засвоюваності продуктів, передусім тваринного походження, проводять їхню термічну обробку- і низькотемпературну (охолодження, підморожування, заморожування), і високотемпературну (варіння, пастеризація, стерилізація та ін.).

Близько 80 % харчових продуктів споживається після теплового оброблення, що сприяє розм'якшенню їхніх тканин. Теплове оброблення знищує мікроорганізми і сприяє руйнуванню деяких токсинів.

Однак разом із позитивною дією теплове оброблення і негативно впливає на харчові продукти: руйнуються окремі поживні речовини, мінеральні солі, розчинні у воді вітаміни, звітрюються ароматичні речовини, втрачається природний колір продуктів, можуть утворюватися антипоживні сполуки, що мають різну будову і властивості. Деякі сполуки цієї групи мають потенційно шкідливий вплив на здоров'я людини.

Зміна білків. За термічного оброблення, стерилізації, консервування і подальшого зберігання харчових продуктів відбуваються глибокі ушкодження білків:

– за *короткочасного нагрівання* відбувається денатурація білків і з втратою, і без втрати ними харчової цінності. При цьому біологічні, фізичні і

хімічні властивості білкової молекули змінюються, ферментативна активність білків втрачається;

– *повільне нагрівання* білків за наявності у продукті відновлюваних цукрі зумовлює створення зв'язків між аміногрупами амінокислот і цукрами. Утворені цукроамінні комплекси не гідролізуються травними ферментами; вміст амінокислоти лізину знижується;

– *тривале нагрівання* білків зменшує вміст й інших амінокислот. Треба зазначити, що зменшення вмісту лізину може відбутися і за відсутності редукуючих речовин. Вільні аміногрупи лізину й аргініну, що входять до структури білка, можуть вступати в реакції з вільними кислотними групами аспарагінової і глутамінової кислот, а також із жирними кислотами і продуктами окиснення жирів;

– *дуже тривале нагрівання* білків призводить до деструкції амінокислот, включаючи повний їхній розпад й утворення перехресних зв'язків між окремими амінокислотами,у результаті чого утворюються поліамінокислотні комплекси.

Під час нагрівання суміші казеїну, що містить 4 % вологи, з глюкозою впродовж 24 годин за температури 90ºС знижується кількість 10 амінокислот: метіоніну – на 25 %, аспарагінової і глутамінової кислот, треоніну, серину, гліцину, гістидину й аргініну – на 25–30 %, лізину и аланіну – на 85 %. Втрати збільшуються за підвищення вологості казеїну.

За оброблення харчових продуктів у лужному середовищі і наявності окиснювачів білки істотно змінюють свої фізичні та хімічні властивості.

За pH нижче від 8 у киплячій воді та за pH вище за 10 і температури 25°С у білку, отриманому з оселедця, між амінокислотами формуються внутрішні зв'язки, утворюється дипептид лізиналанін, який може чинити токсичну дію на організм людини.

Під час зберігання білкових харчових продуктів, до складу яких входять жири, вміст амінокислот знижується дуже різко. Наприклад, вміст лізину знижується на 90% у консервах з оселедця, які зберігалися 12 місяців за 25°С. Ці зміни не відбуваються за наявності в атмосфері нітрогену або за відсутності

жирів. Причиною таких процесів є утворення гідропероксидів ненасиченими жирними кислотами під час взаємодії з киснем. Розщеплюючись самовільно, гідропероксиди утворюють низькомолекулярні жирні кислоти, спирти, альдегіди і кетони, які активно вступають у реакцію з різними групами білків.

Зміни ліпідів. Хімічні реакції, які відбуваються під час нагрівання ліпідів, можуть призвести до утворення різних гідрокси-, епокси- та пероксисполук; деякі з них вирізняються токсичністю через їхню високу здатність ушкоджувати структуру живої клітини.

Окисні та гідролітичні зміни жирів можуть суттєво погіршити аромат їжі навіть тоді, коли жирів міститься небагато. Так, наприклад, у картоплі і шпинаті (вміст жирів 0,1-0,6 %) ненасичені жирні кислоти окиснюються дуже легко, утворюючи леткі продукти з різким запахом.

Автоокиснення ненасичених жирних кислот у складі олій і жирів розпочинається утворенням гідропероксидів. Цей процес каталізується купрумом, ферумом та іншими металами зі змінною валентністю і гематиновими речовинами. Він також прискорюється під дією світла, тепла й оброблення жирів різними випромінюваннями. Реакція окиснення жирів породжує ланцюг прискорених змін, що супроводжуються утворенням гідропероксидів, які потім руйнуються з утворенням коротколанцюгових альдегідів, кетонів і кислот, що мають неприємний гіркуватий запах.

Під час утворення пероксидів виникають вільні радикали, що реагують з білками, вітамінами і ферментами, а також іншими жирами, які ще не зазнали змін. Особливе сприйнятливий до впливу пероксидів жиророзчинний вітамін А (ретинол).

Під час смаження харчових продуктів руйнування жирів і жирних кислот, що входять до їхнього складу, відбувається дуже швидко. Водночас утворюється низка летких сполук – карбонілів, гідроксикислот, кетокислот, епоксикислот, а також високомолекулярних оксиполімерів. Полімеризація продуктів окиснення згодом може відбуватиметься за відсутності оксигену з утворенням циклічних сполук і високомолекулярних полімерів. Встановлено,

що полімерні сполуки можуть сприяти появі токсичності в нагрітих жирах і у смажених продуктах, що їх містять.

Зміни жирів можуть тривати і за низьких температур. Окиснення жирів, яке вже розпочалося, не зупиняється. Пероксиди легко розпадаються за кімнатної температури і навіть за нижчих температур, зумовлюючи руйнування більшої частини токоферолів у харчових продуктах під час зберігання і в замороженому стані, і за кімнатної температури.

За звичайного термічного оброблення (варіння) або мікрохвилями жири молока, м'яса і яєць суттєво не змінюються. За технологічного оброблення харчових продуктів і консервування зменшення поживної цінності жирів зазвичай незначне або майже відсутнє.

*Зміни вітамінів***.** Вміст вітамінів у харчовій сировині коливається в дуже широких межах. Це не дає змоги зробити достовірні висновки про зниження їхньої кількості за теплового оброблення. Умови і тривалість зберігання сировини, умови транспортування і перероблення кожного виду харчової продукції вносять свої особливості у процеси біохімічної зміни вітамінів.

Ретинол (вітамін А). У продуктах тваринного походження він трапляється в активній формі – у вигляді ретинолу, а в рослинах – у провітамінній формі – у вигляді різних каротиноїдів, головним чином у вигляді β-, α- чи γ-каротиноїдів, з молекули яких утворюється дві або одна молекули ретинолу. У готових харчових продуктах ретинол і каротиноїди містяться в розчиненому в жирах стані. Швидкість їхнього окиснення і втрати вітамінних властивостей залежать від швидкості окиснення жирів. Чинники, які прискорюють окиснення жирів, також руйнують ретинол. Антиокиснювачі, які захищають жири від окиснення і руйнування, захищають також ретинол і каротини.

Стабільність вітаміну А залежить від виду продукту. Відзначена висока стабільність ретинолу у складі маргарину, незбираного сухого молока. Під час варіння продуктів у воді руйнується 16% вітаміну А через 30 хв, 40 % – через 1 год і 70 % – через 2 год. Смаження за 200 °С свіжого і топленого масла, збагачених вітаміном А, призводить до руйнування 40 % вітаміну через 5 хв,

60% – через 10 хв і 70 % – через 15 хв. Під час виробництва топленого масла, приготованого коров'ячого молока, втрати каротину і ретинолу при 150°С через 15 хв становлять відповідно 40 і 30 %.

Молоко, освітлюване денним світлом упродовж 6 год, втрачає до 10% вітаміну А.

Тіамін (вітамін B_1) нестійкий у нейтральному і лужному розчинах, де на нього негативно впливають іони металів, наприклад, купруму. Втрата активності відбувається і за екстракції вітаміну водою. Водночас він стійкий за низького pH і навіть під час нагрівання до 120°С.

Тіамін стійкий у харчових продуктах, які містять агар, желатин і декстрин. Стабілізаційний вплив здійснює також додавання зернових продуктів до консервів зі свинячого м'яса.

Діоксид сульфуру повністю руйнує тіамін. За pH 3,0 руйнування починається і відбувається швидко, а за pH 5 і вище швидкість деградації збільшується. Сульфуристий ангідрид у кількості 0,1 % за 4°С через 48 год руйнує до 90 % вітаміну B_1.

Під час заморожування харчових продуктів ферменти тіаміназа і поліфенолоксидаза руйнують тіамін. Так, під час заморожування моркви втрати вітаміну становлять 50 % уже через 90 днів зберігання, а в замороженого свіжого шпинату вся кількість тіаміну руйнується через 37 год.

Основні втрати тіаміну спостерігаються під час миття водою плодоовочевої сировини. Нарізані і тонко подрібнені харчові продукти внаслідок цього втрачають 20-70 % тіаміну.

Рибофлавін (вітамін B_2) трапляється в зв'язаній і вільній формах у харчових продуктах. У зв'язаному стані міститься з фосфатами у вигляді мононуклеотиду і флавінаденіндинуклеотиду. У молоці рибофлавін міститься у вільній формі. Це найдефіцитніший вітамін у дієті населення країн, що розвиваються.

Він легко екстрагується під час миття продуктів та їх бланшування, але порівняно стійкий проти окиснення і низького pH. Рибофлавін у кислому середовищі не руйнується навіть за 130 °С, але легко руйнується за лужних

умов. Він чутливий до світла, особливо якщо міститься в молоці. У кислому і нейтральному середовищах під дією світла він перетворюється на луміхром, а в лужному – луміфлавін. Останній руйнує вітамін С молока; навіть незначні втрати рибофлавіну (близько 5%) можуть призвести до істотних втрат вітаміну С у цьому продукті – до 50%.

Фолієва кислота вхарчових продуктах трапляється в різних формах у вигляд вільних і зв'язаних фолатів, які різняться біологічною активністю і стабільністю.

Замочування у воді риби тунця впродовж 12 год призводить до втрати 5% вітаміну; бланшування у воді за 100ºС зумовлює втрати до 20% через 5 хв, 25% – через 10 хв і 45% – через 20 хв. Стерилізація в бляшаних банках за 118°С впродовж 30 хв призводить до втрати 10% вітаміну, а за жорсткіших умов – до повної його втрати.

У технологічному процесі перероблення молока втрачається сумарно 70% вільних фолатів і 45% загальних фолатів, причому до 10% втрачається під час бланшування парою, 20% – під час готування їжі під тиском і 25-50% – під час варіння у відкритих казанах за доступу кисню повітря.

Піридоксин (вітамін B_6) у кислих і лужних середовищах стабільний. Основні втрати відбуваються під час розчинення його у воді. Під час варіння м'яса втрати сягають 50% залежно від умов варіння. У консервованому м'ясі активність вітаміну B_6 втрачається на 40%.

Аскорбінова кислота (вітамін С) легко екстрагується водою з харчової сировини. У тканинах вона руйнується через окиснення ферментами аскорбіноксидазою, пероксидазою, цитохромоксидазою і фенолазами навіть за відсутності оксигену. Легко окиснюється повітрям за взаємодії з іонами купруму та феруму. За наявності рибофлавіну вітамін С на світлі швидко руйнується (наприклад, у молоці). Порівняно стійкий вітамін за іонізуючого випромінювання. Сульфітація запобігає окисненню вітаміну.

Теплове оброблення харчових продуктів призводить до зниження вмісту вітаміну С. Втрати під час бланшування залежать від ступеня подрібнення сировини і кількості доданої води.

В анаеробних умовах руйнування вітаміну відбувається також інтенсивно, особливо за наявності цукрози і фруктози, водночас утворюється фурфурол. Якщо в продукті містяться антоціани, втрати вітаміну С збільшуються.

Зберігання – етап технологічного циклу товаропросування від випуску готової продукції до споживання або утилізації, мета якого – забезпечення стабільності початкових властивостей або їх зміна з мінімальними втратами.

Кінцевий результат ефективного зберігання продовольчих товарів – зберігання їх без втрат або з мінімальними втратами впродовж обумовленого терміну.

Безперервність дотримання умов зберігання полягає в обов'язковості дотримання на всіх етапах товарної стадії встановлених вимог до кліматичного і санітарно-гігієнічного режимів. Це означає, що потрібно створювати та підтримувати оптимальні умови зберігання одразу після одержання готового продукту, а не лише з моменту випуску товарів із підприємства-виробника.

Особливо це важливо для охолоджених і заморожених швидкопсувних продуктів, для зберігання яких велике значення мають навіть несуттєві перепади температури. Для таких продуктів необхідно дотримуватися єдиного холодильного ланцюга на всьому шляху товаропросування.

Захист від несприятливих зовнішніх впливів– запобігання впливам кліматичних та інших несприятливих умов на товари під час транспортування та зберігання.

Цього досягають дотриманням оптимальних параметрів санітарно-гігієнічного та кліматичного режимів, вимог граничної висоти завантаження товарів, а також дбайливим поводженням із товаром під час завантажувально-розвантажувальних робіт, поточного догляду під час зберігання.

Інформаційне забезпечення – доведення до зацікавлених суб'єктів необхідних відомостей про умови та терміни зберігання продуктів. Цього досягають завдяки інструктуванню працівників щодо нормативних і технічних документів та встановлених у них вимог до кліматичного та санітарно-гігієнічного режиму, правил розміщення товарів під час транспортування й зберігання.

Розміщення товарів у сховищі (складі) має полегшувати ідентифікацію товарних партій. Для цього під час тарного розміщення товари складають так, щоб маркування транспортної тари було на зовнішній частині штабеля. Кожний штабель і товарна партія повинні мати паспорти або етикетки. Окремими штабелями розміщують однойменні товари певного сорту, марки, класу, дотримуючись правила товарного сусідства.

За відсутності виробничого маркування товари можуть бути додатково промарковані етикетками, ярликами та іншими носіями маркування.

Інформаційне забезпечення дає змогу не лише скоротити товарні втрати під час зберігання, а й зменшити втрати робочого часу на пошук необхідного товару, його розвантаження.

Систематичність контролю – здійснення періодичного контролю на всіх етапах технологічного циклу, а в разі тривалого зберігання – через певні проміжки часу. Обов'язковому контролю підлягають товари під час здавання-приймання, який виконує ідентифікуючу функцію і водночас є остаточним для постачальника та вхідним для одержувача.

Підчас зберігання систематичному контролю підлягають три групи об'єктів:

• їхня упаковка;

• режим зберігання.

Контроль за якістю продовольчих товарів, що зберігаються, здійснюють способом візуального огляду штабелів або насипу товарів. Звертають увагу на зовнішній вигляд, який має бути властивий певному товару. Якісні характеристики товарів можна також оцінювати за станом тари.

У разі виявлення підозрілих ознак з упакованих товарів роблять вибірку, розпаковують пакувальні одиниці, що потрапили до неї, і розсортовують за показниками якості, передбаченими стандартами. Окремо розпаковують товари з дефектних і бездефектних пакувальних одиниць. Після цього за результатами поточного контролю приймають одне з *кількох альтернативних рішень:*

• вибракувати дефектні упаковки або товари;

• терміново реалізувати товар;

• продовжувати зберігання;

• відправити неякісний товар на промислову переробку або утилізацію.

Контроль за якістю товарів і станом тари товарознавці поєднують із контролем за режимом зберігання. Контроль за *температурою* повітря в сховищі здійснюють за допомогою термометрів (спиртових, ртутних, дистанційних), термографів (тижневих і добових), а відносну вологість повітря встановлюють за показниками психрометрів, гігрометрів, гігрографів (тижневих і добових).

Повітрообмін контролюють за тривалістю і частотою вентилювання. Інтенсивність повітряного потоку визначають за допомогою спеціальних приладів – анемометрів або найпростішим методом – за відхиленням полум'я свічки.

Газовий склад середовища перевіряють за допомогою газоаналізаторів. Результати вимірів записують у спеціальні журнали. Документування показників режиму зберігання є доказом дотримання або порушення заданого оптимального режиму і в разі необхідності може бути використано зацікавленими особами. Контроль за санітарно-гігієнічним режимом зазвичай візуальний. Під час візуального огляду товарів, тари, стін, підлоги та стелі визначають наявність або відсутність колоній плісняви, гнилі та інших мікроорганізмів. Крім того, звертають увагу на сторонні неприємні запахи, що свідчать про початок псування товарів. Під час огляду встановлюють також присутність комах у повітрі та гризунів або їхніх слідів.

У разі виявлення ознак мікробіологічного псування, а також пошкоджень продукції комахами або мишоподібними гризунами застосовують методи санітарно-гігієнічної обробки. У рідкісних випадках викликають представників органів санітарно-епідеміологічної служби для визначення загального бактеріального обсіменіння методами посівів або змивів із товарів, тари й устаткування.

Великі витрати на зберігання не завжди скуповуються скороченням втрат, а в окремих випадках витрати виявляються набагато вищими, ніж прибуток від скорочення втрат. Тому необхідно розрахувати реальну економічну

ефективність обраних методів зберігання товарів з урахуванням товарних втрат і витрат на зберігання.

Усі продовольчі товари поділяють на швидкопсувні та придатні для тривалого зберігання.

Швидкопсувні товари вирізняються високим вмістом води. Тривале зберігання їх можливе лише із застосуванням певних засобів консервування. До товарів, які швидко псуються, належать м'ясо, риба, молоко.

До товарів, *придатних для тривалого зберігання,* належать ті, що містять невелику кількість води або були піддані консервуванню.

Швидкість змін складу та якості залежить від активності руйнівних агентів і від чинників, що впливають на діяльність цих агентів. Руйнівні агенти можуть міститися в самому продукті (таблиця 7.1). Вони спричиняють різноманітні процеси, що призводять до зміни складу та якості продовольчих товарів.

Під час зберігання харчової продукції відбуваються фізичні, хімічні, біохімічні та біологічні процеси.

Фізичні процеси полягають у зміні температури та вологості продуктів, сорбції (поглинанні) паро- і газоподібних речовин, ущільненні сипких продуктів, деформації продуктів унаслідок механічних впливів.

Хімічні процеси зумовлюють неферментативне самоокиснення жирів, хімічний бомбаж у консервах та інші зміни якості продукції.

Під час самоокиснення жирів спочатку утворюються пероксидні сполуки – гідропероксиди та вільні радикали, а потім вторинні продукти окиснення – альдегіди, кетони, оксикислоти та інші речовини, які надають жирам згірклого смаку та запаху. Самоокиснення жирів прискорюється під дією кисню повітря, світла, підвищеної температури, каталізаторів.

Реакційноздатні речовини зумовлюють утворення меланоїдинів, які призводять до потемніння продуктів і появи в них побічного запаху.

Хімічний бомбаж з'являється внаслідок взаємодії кислот консервів із металом банки. Тоді виділяється водень, який спричиняє здуття денця і кришки банки, відбувається перехід стануму у вміст консервів; продукт стає непридатним до вживання.

Таблиця 7.1

Руйнівні агенти і процеси, зумовлені ними

Джерело руйнівних агентів	Вид руйнівних агентів	Процеси, зумовлені руйнівними агентами
Містяться в самих продуктах	Ферменти клітин і тканин продукту або внесені в нього під час виготовлення	Біохімічні процеси: дихання, гідроліз білків, жирів та інших речовин
	Реакційно-здатні речовини, що містять карбонільні, карбоксильні, змінні та інші групи	Хімічні процеси, у тому числі реакції меланоїдиноутворення
Потрапляють ззовні	Мікроорганізми, комірні та сільськогосподарські шкідники	Мікробіологічні процеси: бродіння, пліснявіння, гниття; пошкодження продуктів шкідниками
	Активні речовини довкілля (оксиген, озон, етилен тощо)	Окиснення речовин, дозрівання плодів і овочів тощо
	Світло (фотодія)	Прискорення хімічних та інших процесів

Біохімічні процеси каталізуються ферментами, які містяться в самих продуктах. До них належать процеси гідролітичні, окисно-відновні (дихання) та ін. Наприклад, під дією фермента амілази відбувається зацукрення крохмалю, ліпооксигенази – утворення пероксидів і гідропероксидів під час

ферментативного окиснення жирів, ліпаза сприяє гідролізу жирів з утворенням вільних жирних кислот і гліцеролу, протеїнази спричиняють гідроліз білків та ін.

Біологічні процеси активуютьсяруйнівними агентами, які потрапляють ззовні, – мікроорганізмами, комірними та сільськогосподарськими шкідниками. Мікроорганізми, розвиваючись на харчових продуктах, спричиняють бродіння, пліснявіння, ослизнення і гниття. До комірних і сільськогосподарських шкідників належать кліщі, жуки та їхні личинки, метелики та їхня гусінь, мухи та мишоподібні гризуни. Вони забруднюють, зволожують і знищують багато продовольчих товарів.

До факторів, що впливають на активність руйнівних агентів у харчових продуктах, належать температура, вологість повітря, склад газового середовища, освітлення, санітарний стан сховища, товарне сусідство та ін. Сукупність цих факторів характеризує *режим зберігання* продовольчих товарів. Режим зберігання, за якого максимально сповільнюються хімічні, біохімічні, мікробіологічні й інші процеси, зменшуються природні втрати маси та зберігається якість продукції, називається *оптимальним.*

Для кожного виду чи групи продовольчих товарів існує оптимальний режим зберігання. Недотримання режиму зберігання призводить до погіршення якості та навіть псування продуктів.

Вирізняють кліматичний і санітарно-гігієнічний режими зберігання.

Кліматичний режим зберігання. Температура зберігання – один із найважливіших показників режиму зберігання. Унаслідок підвищення температури прискорюються хімічні, фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні процеси.

Відповідно до правила Вант-Гоффа, швидкість хімічних процесів із підвищенням температури на кожні 10 °С збільшується в 2-3 рази.

Оскільки здатність продовольчих товарів зберігатися зумовлена сповільненням усіх процесів, що відбуваються в них, для більшості товарів знижені, близькі до 0°С температури зберігання кращі, ніж підвищені.

Для багатьох продуктів, що зберігаються за знижених температур, нижня межа обмежена температурою замерзання, якщо внаслідок заморожування погіршуються окремі споживчі властивості. Це стосується передусім продуктів, до складу яких входить вода.

Під час замерзання води руйнується мікроструктура продукту, внаслідок чого утворюються мікротріщини, руйнуються клітини та гинуть біооб'єкти.

Продукти з гомогенізованою структурою під час замерзання розшаровуються, внаслідок чого втрачають товарний вигляд (молоко, кисломолочні продукти).

Для заморожених продуктів не існує суворого обмеження нижньої межі температур, їх можна зберігати в інтервалах температур, ºС: (-10)/(-12); (-23)/(-25); (-30)/(-40).

За нижчих температур відбувається інтенсивна сублімація льоду і зневоднення продукту. Проте для заморожених продуктів обмежується верхня межа температур (не вище -8°С), оскільки за вищих температур відбувається перекристалізація льоду, збільшення кристалів, унаслідок чого якість продукту під час розморожування погіршується.

Продукти, які не містять вільної води, можуть зберігатися без псування за дуже низьких температур (бакалійні товари).

Водночас є продукти, які завдяки консервантам або консервувальній дії можуть зберігатися за достатньо широкого діапазону температур (високих і низьких).

Єдиної оптимальної температури зберігання усіх продовольчих товарів не існує через різноманітність властивостей, які визначають їх зберігання.

З огляду на це всі споживчі товари поділяють за термічним станом і вимогами до оптимального температурного режиму на шість груп (таблиця 7.2).

Таблиця 7.2.

Класифікація продовольчих товарів за термічним станом і вимогами до оптимального температурного режиму

Термічний стан товарів	Діапазон температур, °С	Групи товарів
Заморожені	(-10)/(-12)	М'ясо, риба, масло вершкове, тваринні жири, заморожені яєчні продукти
	(-18)/(-20)	М'ясо, риба, , масло вершкове, яєчні продукти
	(-23)/(-25)	М'ясо, риба.
	(-28)/(-30)	М'ясо, риба.
Переохолоджені	(-7)/(-10) (-2)/(-5)	Солона риба, сирокопчені ковбаси, тваринні жири, варено-копчені ковбаси, маргарин
Охолоджені	(-1)/(+1)	яйця
	(0)/(+4)	Молочні товари, охолоджені м'ясо та риба
Широкого діапазону позитивних температур	(0)/(+25) (0)/(+18)	Консерви.

Наведені в таблиці діапазони оптимальних температур є приблизними. Для кожної асортиментної групи або навіть виду споживчих товарів у стандартах і санітарних правилах встановлюють граничні температури (не вище або не нижче).

Стандарти регламентують умови (у тому числі температуру та відносну вологість повітря) і терміни зберігання товарів, які особливо швидко псуються.

Температурний режим під час перевезення товарів встановлюють відповідні правила (кодекси або статути) органів транспорту.

Відносна вологість повітря (ВВП) – показник, що характеризує ступінь насичення повітря водяною парою.

ВВП визначають як відношення фактичного вмісту води в 1 $м^3$ повітря до максимально можливого вмісту в цьому об'ємі за певної температури й тиску, виражене у відсотках. Випаровування води з продуктів призводить до кількісних і якісних втрат, зокрема до природних втрат за рахунок усушки. Що вища вологість продуктів і нижча ВВП, то більші їх втрати. Тому продукти з підвищеною вологістю рекомендується зберігати за високої ВВП. Проте такий режим непридатний для сухих товарів, оскільки вони можуть поглинати водяну пару, зволожуватися і зазнавати мікробіологічного псування.

На вибір режиму вологості для зберігання впливають довколишня температура та наявність у продовольчого товару захисних, вологонепроникних оболонок.

ВВП обернено пропорційне до температури. З підвищенням температури зростає вологомісткість повітря, а отже, знижується ВВП. Водночас зростає абсолютна вологість (фактичний вміст водяної пари в повітрі). За температури нижчої точки роси, абсолютна вологість виявляється вищою за вміст водяної пари, необхідної для насичення. Внаслідок цього надлишок пари випадає у вигляді конденсату на тарі, товарах, а також стінах і стелі сховищ. У разі появи крапельно-рідкої води на поверхні продуктів прискорюється їх мікробіологічне псування, а також корозія металевих поверхонь.

Захисні оболонки запобігають усиханню чи зволоженню продуктів. Водночас випадання конденсату на поверхні цих оболонок може призвести до поступового їх руйнування. Менш стійка у цьому аспекті металева тара. Найстійкішою вважається скляна тара, але через металеві кришки і вона не вічна.

Таким чином, вибір оптимальної ВВП визначається передусім хімічним складом продовольчих товарів, їхньою гігроскопічністю, температурою зберігання та наявністю захисних оболонок. Залежно від вимог до оптимального режиму вологості всі продовольчі товари можна поділити на чотири групи (таблиця 7.3).

Таблиця 7.3

Класифікація продовольчих товарів за вологістю
та вимогами до оптимального режиму вологості

Групування товарів за вологістю	Діапазон ВВП,%	Група товарів
Сухі	До 65	бакалійні товари
Помірні	70-75 75-80 До 75	масло вершкове, маргарин, консерви
Вологі	80-85	молочні товари, м'ясо, риба, яйця та яйцепродукти
Підвищеної вологості	90-95	м'ясо, риба

Повітрообмін (ПО) – показник режиму, що характеризує інтенсивність і кратність обміну повітря в середовищі, у якому перебуває товар.

У процесі ПО створюється рівномірний температурно-вологісний режим, а також видаляються газоподібні речовини, які виділяє продукція, тара, устаткування та ін.

ПО може відбуватися з подачею повітря ззовні й у цьому разі називається *вентиляцією.* ПО без подачі зовнішнього повітря за рахунок переміщення повітря у приміщенні – *циркуляція.*

Розрізняють два види повітрообміну:

• природний;

• примусовий.

Природний повітрообмін здійснюється за рахунок різниці питомої ваги холодного та теплого повітря. Холодне повітря важче й переміщається донизу, витискуючи тепле, легше повітря. Природними можуть бути і циркуляція, і вентиляція.

За природної вентиляції повітря у сховищі охолоджується під час контакту з більш холодними об'єктами (стелею, холодними товарами) і переміщується донизу, витісняючи тепле повітря, яке, своєю чергою, охолоджується під час контакту з холодними предметами. Ця циркуляція триває, доки не встановиться рівновага температур у різних точках сховища.

За природної вентиляції забезпечується приплив до приміщення холодногозовнішнього повітря, яке витискує назовні тепле повітря (припливно-витяжна вентиляція).

Інтенсивність природного ПО залежить від різниці температур холодного й теплого повітря. Інтенсивний рух повітря відбувається за різниці температур від 8°С. Що більша ця різниця, то інтенсивніший повітрообмін.

Примусовий повітрообмін здійснюється завдяки подачі або обміну повітря у приміщенні вентиляторами.

Активний повітрообмін – обмін повітря способом його спонукальної подачі через товарну масу.

Активна вентиляція або циркуляція забезпечує рівномірний температурно-вологісний режим у масі продовольчих товарів під час зберігання за рахунок періодичного видалення зайвого тепла та водяної пари, а також підсушування поверхні, що поліпшує збереження товарів.

Проте активний повітрообмін прийнятний не для всіх продуктів, оскільки під час інтенсивного відведення водяної пари втрачається аромат. Крім того, метод потребує великих витрат на устаткування, електроенергію й економічно виправданий у тих випадках, коли вдається збільшити висоту завантаження сховища і таким чином зменшити витрати на зберігання. *Газовий склад*

повітря- показник режиму, що характеризує склад газів у довкіллі. Він зумовлений трьома групами компонентів:

• основні гази – кисень, нітроген і вуглекислий газ;

• інертні гази – гідроген, гелій, аргон та ін;

• шкідливі газоподібні домішки – нітрогену та сульфуру оксиди, озон, аміак, фреон та ін.

У кількісному відношенні переважають кисень і азот. У нормальному газовому середовищі міститься 20,6% кисню, 78% азоту, 0,03% вуглекислого газу. Вміст інертних газів становить приблизно 1%.

На збереження товарів найбільшою мірою впливають кисень, вуглекислий газ і газоподібні домішки.

Кисень активізує окисні процеси, внаслідок чого руйнуються вітаміни, барвні речовини, гіркнуть жири, відбувається корозія металу тари та ін.

Вуглекислий газ, який має антисептичні властивості, інактивує розвиток сторонньої мікрофлори і за певних концентрацій поліпшує збереження продуктів. Проте його надлишок може спричиняти фізіологічні захворювання і навіть загибель біооб'єктів.

Азот та інертні гази несуттєво впливають на збереження продукції.

Озон у певних концентраціях поліпшує зберігання ковбас, сирів.

Наявність у повітрі низки шкідливих домішок (сульфуру, нітрогену оксидів, аміаку) призводить до забруднення продуктів і зумовлює зміну їхніх споживчих властивостей.

Освітлення – показник режиму зберігання, який характеризується інтенсивністю світла у приміщенні.

На зберігання більшості продуктів світло, особливо сонячне, впливає негативно, оскільки воно активізує окисні процеси, що зумовлює згіркнення жирів, руйнацію барвних речовин, вітамінів та інших цінних речовин. Тому більшість продуктів рекомендують зберігати в темряві.

7.2. Санітарно-гігієнічний режим зберігання

Чистота – стан об'єктів зберігання і довкілля, що характеризується забрудненнями, які не перевищують установлених норм. Чистота визначається двома групами показників.

Першу групу становлять показники чистоти, що різняться природою забруднення: мінерального, органічного, мікробіологічного або біологічного.

Друга група показників чистоти характеризує місцезнаходження забруднення: повітря, підлога, стіни, стеля, устаткування, механізми, продукти, тара у сховищах або транспортних засобах.

Забруднення мінерального походження. Джерелом їх є переважно ґрунт, який потрапляє у сховище з товарами, механізмами, транспортними засобами, та пил. Низка харчових продуктів можуть стати небезпечними, якщо пил містить шкідливі речовини (радіоактивні елементи, оксиди плюмбуму, отрутохімікати). Тому до комплексу заходів щодо створення і підтримання санітарно-гігієнічного режиму належать періодичне вологе прибирання приміщень. Періодичність такого прибирання визначають санітарні правила або правила внутрішнього розпорядку.

*Забруднення органічного походження*потрапляють у склади разом із ґрунтом (органічні добрива, домішки, пестициди та ін.), тому вони мають спільні з мінеральними забрудненнями джерела. Інше джерело органічних забруднень – зіпсовані, неякісні товари, вчасно не видалені зі сховища. Для багатьох харчових про дуктів це джерело найнебезпечніше, оскільки одночасно з органічним забрудненням тари, підлоги й устаткування зростає мікробіологічне обсіменіння цих об'єктів і повітря.

З огляду на це своєчасне видалення неякісних продовольчих товарів є дієвим засобом запобігання зазначених видів забруднень.

*Забруднення мікробіологічного походження*мають аналогічні з іншими видами забруднень джерела. Проте першочергове значення в цьому випадку мають самі товари й тара, забруднені збудниками різноманітних мікробіологічних захворювань. Забруднення мікробіологічного походження оцінюють якісно (види мікроорганізмів) і кількісно.

Загальне мікробіологічне обсіменіння повітря складських приміщень, тари й устаткування – важливий показник чистоти. Визначається мікробіологічними методами за допомогою змивів із тари, товарів із різних місць штабеля, а також посівів із проб повітря, які беруть у приміщеннях. Найпоширенішими мікроорганізмами у повітрі складів є спори пліснявих грибів, а також *Fusarium,* дикі дріжджі. Повітряні потоки переносять спори на різні ділянки складу, внаслідок чого зростає загальне мікробіологічне обсіменіння повітря, тари і товарів. Потрапляючи на продукти, спори у сприятливих умовах проростають і спричиняють їх мікробіологічне псування.

Проведення профілактичних заходів, зокрема дезінфекції сховищ до завантаження в них товарів, дає змогу знизити загальне мікробіологічне обсіменіння.

Біологічне забруднення сховищ зумовлене наявністю в них комахо-шкідників, мишоподібних гризунів, іноді птахів. Особливо інтенсивно міграція, а також розмноження комах відбуваються за підвищених температур зберігання. Гризуни потрапляють у склади з вулиці, підвалів та ін. У складах вони можуть жити й розмножуватися. Гризуни не лише поїдають продукти, забруднюючи їх фекаліями, а й можуть переносити інфекційні захворювання, забруднювати харчові продукти сильними отрутами, якими труять гризунів.

Методи зберігання харчових продуктів – сукупність технологічних операцій, які забезпечують збереження продовольчих товарів способом створення і підтримання заданих кліматичного та санітарно-гігієнічного режимів, а також засобів їх розміщення й обробки.

Призначенням цих методів є збереження споживчих властивостей харчових продуктів без втрат або з мінімальними втратами впродовж обумовлених термінів. Залежно від характеру та спрямування технологічних операцій розрізняють три групи методів зберігання:

1) методи, засновані на регулюванні різних показників кліматичного режиму зберігання;

2) методи, засновані на різних способах розміщення (тарний і безтарний);

3) методи догляду за товарами, засновані на різних видах і способах обробки:

• *санітарно-гігієнічна обробка:* дезінфекція, дезінсекція, дератизація, дезактивація, дезодорація, дегазація;

• *спеціальна обробка:* ростостимулювальна, ростоінгібуюча, що прискорює дозрівання;

• *захисна обробка:* нанесення захисного покриття на поверхню продуктів або упакування.

Кількість методів зростає мірою розвитку науки, техніки та технології в галузі зберігання. В Україні й за кордоном в останні три десятиліття здійснювався інтенсивний пошук і розроблення нових методів зберігання. Деякі з них впроваджено в практику (газове зберігання, активна вентиляція та ін.).

Проте численні розробки залишилися на рівні наукових експериментальних досліджень через високі витрати на зберігання в разі використання нових методів, невисоку економічну ефективність, незначне скорочення втрат порівняно з методами, що вже застосовуються на практиці, через низьку технологічність або через відсутність коштів на їх впровадження.

На різних етапах технологічного циклу відбуваються різноманітні втрати сировини, напівфабрикатів, готової продукції. Ці втрати зумовлено частковою або повною втратою кількісних і якісних характеристик продукту.

Кількісні втрати. Кількісні втрати – зменшення маси, об'єму та інших кількісних характеристик продукту. Ці втрати зумовлено природними, властивими конкретному продукту процесами, що відбуваються під час зберігання і товарної обробки. У товарознавстві їх ще називають природними або нормованими, їх можна знизити або змінити місце їх виникнення завдяки цілеспрямованому регулюванню факторів зовнішнього або внутрішнього середовища продукції, але неможливо виключити взагалі. Цим пояснюється встановлення норм кількісних втрат.

Кількісні втрати, залежно від причин виникнення, поділяють на два види:

• природні;

• передреалізаційні.

Природні втрати – кількісні втрати, які зумовлені процесами, властивими для продуктів, і відбуваються під час їх транспортування та зберігання.

Причинами виникнення природних втрат є такі процеси:

• випарювання води, або усушка;

• розпорошення;

• розливання (розмащування);

• вивітрювання речовин;

• перехід рідкої фракції харчового продукту в упаковку;

• дихання (лише для продуктів, що є живими об'єктами);

• пошкодження тари.

Усушка – одна з основних причин природних втрат споживчих товарів, що містять навіть невелику кількість води. Цей процес зумовлює 50-100% усіх природних втрат. Усушка відбувається, навіть якщо продукт герметичне закупорений (консерви, напої та ін.). Ці процеси є практично єдиними, що зумовлюють природні втрати м'ясних, рибних, молочних і кондитерських продуктів під час зберігання. Що більше води в продукті, то менша його здатність утримувати вологу й менш надійна упаковка, то більші природні втрати за рахунок усушки.

Розливання (розмащування) – кількісні втрати рідких і в'язких, мазеподібних продуктів за рахунок прилипання частинок до стінок тари, а також до допоміжних засобів для переміщення продукту з одного виду тари в інший. Цей процес зумовлює втрати меду тощо.

Вивітрювання речовин – кількісні втрати товарів за рахунок переходу частини летких речовин у довкілля.

Перехід рідкої фракції продукту в упаковку – процес, характерний для товарів, які містять рухливу водну або жирову фракцію. Це зумовлює не тільки зменшення маси, а й зміну інших споживних великі властивостей товарів. До продуктів, серед яких цей процес спричиняє природні втрати, належать солона риба, охолоджені м'ясо, риба та ін.

Дихання – біологічний процес розпаду енергетичних речовин і виділення енергії, частково використовуваної для забезпечення життєдіяльності живих об'єктів (яйця, жива риба). На частку втрат за рахунок дихання припадає 10-50% усіх природних втрат харчових продуктів.

Пошкодження тари виникає внаслідок впливу динамічних і статичних навантажень, що перевищують її механічну стійкість. Найбільші втрати стаються серед рідких продуктів.

Передреалізаційні втрати чи відходи зумовлені процесами (операціями), пов'язаними з підготовкою товарів до продажу. До таких втрат належать:

– видалені малоцінні частини продукту, які можна реалізувати за нижчою ціною або відправити на промислову переробку. Наприклад, відходи виникають під час зачищення від штафу вершкового масла, відділення шкіри, кісток у м'ясо-копченостей, видалення голови та плавців у риби;

– відокремлені складники товару, які не впливають на його функціональне призначення (заливні рідини, дефекти);

– розкришені частинки під час розділення продукту на частини (розрубування м'яса, розрізання сирів, м'ясокопченостей та ін.);

– відділені від основної маси товару складники – вода, жири та інші (відділення бульйону від варених ковбас, сколотин – від вершкового масла, підсирної сироватки – від сирів, парафіну – від сирних голівок та ін.).

Особливо це важливо для охолоджених і заморожених швидкопсувних продуктів, для зберігання яких велике значення мають навіть несуттєві перепади температури. Для таких продуктів необхідно дотримуватися єдиного холодильного ланцюга на всьому шляху товаропросування.

Якісні втрати – втрати, зумовлені мікробіологічними, біологічними, біохімічними, хімічними, фізичними та фізико-хімічними процесами.

Мікробіологічні процеси спричиняють псування продуктів, суттєво знижують їхню якість, роблять неможливим використання їх за призначенням або знижують надійність. Псування харчових продуктів відбувається внаслідок різних видів бродіння (маслянокислого, пропіоновокислого, спиртового,

оцтового, молочнокислого), гниття, ослизнення, пліснявіння, розвитку токсичних бактеріозів (ботулінус, сальмонельоз та ін.).

Мікробіологічні процеси є однією з причин біопошкоджень.

Біохімічні процеси властиві здебільшого харчовим продуктам, які є біологічними об'єктами (тварини). Вони відбуваються за участі різноманітних ферментів. Порушення природного перебігу цих процесів може спричиняти різні фізіологічні розлади, які можуть призвести до загибелі біооб'єктів. У результаті подальше використання їх за призначенням стає неможливим.

Найпоширенішим біохімічним процесом, порушення якого може призвести до загибелі, є дихання. порушення дихання спричиняє у тварин – смерть внаслідок анаеробіозу.

Хімічні процеси призводять до псування товарів унаслідок зміни речовин. Наприклад, згіркнення жиру в жировмісних продуктах.

Фізичні та фізико-хімічні процеси зумовлені механічною руйнацією або деформацією продукції. До них належать: розбивання яєць та ін.

Захист від несприятливих зовнішніх впливів – запобігання впливам кліматичних та інших несприятливих умов на товари під час транспортування та зберігання.

Цього досягають дотриманням оптимальних параметрів санітарно-гігієнічного та кліматичного режимів, вимог граничної висоти завантаження товарів, а також дбайливим поводженням із товаром під час завантажувально-розвантажувальних робіт, поточного догляду під час зберігання.

Інформаційне забезпечення – доведення до зацікавлених суб'єктів необхідних відомостей про умови та терміни зберігання продуктів. Цього досягають завдяки інструктуванню працівників щодо нормативних і технічних документів та встановлених у них вимог до кліматичного та санітарно-гігієнічного режиму, правил розміщення товарів під час транспортування й зберігання.

Розміщення товарів у сховищі (складі) має полегшувати ідентифікацію товарних партій. Для цього під час тарного розміщення товари складають так, щоб маркування транспортної тари було на зовнішній частині штабеля. Кожний

штабель і товарна партія повинні мати паспорти або етикетки. Окремими штабелями розміщують однойменні товари певного сорту, марки, класу, дотримуючись правила товарного сусідства.

За відсутності виробничого маркування товари можуть бути додатково промарковані етикетками, ярликами та іншими носіями маркування.

Інформаційне забезпечення дає змогу не лише скоротити товарні втрати під час зберігання, а й зменшити втрати робочого часу на пошук необхідного товару, його розвантаження.

Систематичність контролю – здійснення періодичного контролю на всіх етапах технологічного циклу, а в разі тривалого зберігання – через певні проміжки часу. Обов'язковому контролю підлягають товари під час здавання-приймання. Цей контроль виконує ідентифікуючу функцію і водночас є остаточним для постачальника та вхідним для одержувача.

Підчас зберігання систематичному контролю підлягають три групи об'єктів:

• їхня упаковка;

• режим зберігання.

Контроль за якістю продовольчих товарів, що зберігаються, здійснюють способом візуального огляду штабелів або насипу товарів. Звертають увагу на зовнішній вигляд, який має бути властивий певному товару. Якісні характеристики товарів можна також оцінювати за станом тари.

У разі виявлення підозрілих ознак з упакованих товарів роблять вибірку, розпаковують пакувальні одиниці, що потрапили до неї, і розсортовують за показниками якості, передбаченими стандартами. Окремо розпаковують товари з дефектних і бездефектних пакувальних одиниць. Після цього за результатами поточного контролю приймають одне з *кількох альтернативних рішень:*

• вибракувати дефектні упаковки або товари;

• терміново реалізувати товар;

• продовжувати зберігання;

• відправити неякісний товар на промислову переробку або утилізацію.

Контроль за якістю товарів і станом тари товарознавці поєднують із контролем за режимом зберігання. Контроль за *температурою* повітря в сховищі здійснюють за допомогою термометрів (спиртових, ртутних, дистанційних), термографів (тижневих і добових), а відносну вологість повітря встановлюють за показниками психрометрів, гігрометрів, гігрографів (тижневих і добових).

Повітрообмін контролюють за тривалістю і частотою вентилювання. Інтенсивність повітряного потоку визначають за допомогою спеціальних приладів – анемометрів або найпростішим методом – за відхиленням полум'я свічки.

Газовий склад середовища перевіряють за допомогою газоаналізаторів. Результати вимірів записують у спеціальні журнали. Документування показників режиму зберігання є доказом дотримання або порушення заданого оптимального режиму і в разі необхідності може бути використано зацікавленими особами. Контроль за санітарно-гігієнічним режимом зазвичай візуальний. Під час візуального огляду товарів, тари, стін, підлоги та стелі визначають наявність або відсутність колоній плісняви, гнилі та інших мікроорганізмів. Крім того, звертають увагу на сторонні неприємні запахи, що свідчать про початок псування товарів. Під час огляду встановлюють також присутність комах у повітрі та гризунів або їхніх слідів.

У разі виявлення ознак мікробіологічного псування, а також пошкоджень продукції комахами або мишоподібними гризунами застосовують методи санітарно-гігієнічної обробки. У рідкісних випадках викликають представників органів санітарно-епідеміологічної служби для визначення загального бактеріального обсіменіння методами посівів або змивів із товарів, тари й устаткування.

Економічна ефективність зберігання – здатність обраних методів зберігати товари з найменшими втратами та раціональними витратами на зберігання.

Товарні втрати та витрати на зберігання є найважливішими критеріями вибору методу та термінів зберігання. Втрати можна знизити за рахунок

скорочення терміну зберігання до мінімального або завдяки застосуванню дорогих методів. Однак жоден з цих варіантів не має високої економічної ефективності, оскільки скорочення термінів зберігання в умовах високого насичення ринку найчастіше пов'язане з чималими збитками (наприклад, внаслідок зниження ціни).

Великі витрати на зберігання не завжди скуповуються скороченням втрат, а в окремих випадках витрати виявляються набагато вищими, ніж прибуток від скорочення втрат. Тому необхідно розрахувати реальну економічну ефективність обраних методів зберігання товарів з урахуванням товарних втрат і витрат на зберігання.

Заходи для запобігання втратам. Ці заходи поділяють на організаційні, технологічні та інформаційні.

Організаційні заходи спрямовано на виявлення причин виникнення втрат для їх зниження. Вони можуть мати профілактичний або поточний характер.

Профілактичні заходи пов'язані з приймальним контролем якості, що вже на першій стадії закладання продовольчих товарів на зберігання дає змогу прогнозувати їх збереженість, можливі терміни зберігання незалежно від того, чи існують для конкретних продуктів терміни придатності.

Організаційні поточні заходи полягають у забезпеченні постачання продукції в установлені терміни, моральному і матеріальному стимулюванню працівників за скорочення втрат, відповідальності за збереженість продукції.

Технологічні заходи – заходи з урахування факторів внутрішнього та регулювання факторів зовнішнього середовища, що дають змогу запобігти втратам продукції чи зменшити їх.

Внутрішні фактори – зумовлені хімічним складом і структурою (будовою) продуктів. Усі речовини за впливом на втрати можна поділити на дві групи:

• речовини, що збільшують втрати;

• речовини, що зменшують втрати.

Речовини, що збільшують втрати. З цієї групи речовин найбільший вплив на якісні втрати мають вода та леткі речовини. Під час їх випаровування

або зникнення втрачається маса продукту. Крім того, погіршується якість продукту із втратою функціонального призначення.

Для запобігання втратам води й ароматичних речовин застосовують герметичні упаковки (бляшанки та ін.). Для сповільнення усушки продуктів у негерметичній упаковці рекомендується їх зберігати за знижених температур і підвищеної відносної вологості повітря. Підвищеної вологості досягають завдяки зберіганню продукту в полімерних упаковках, які обмежують повітрообмін. У такому разі випаровувана волога частково залишається в упаковці, за рахунок чого створюється мікроклімат із підвищеною вологістю. Проте треба мати на увазі, що не всі продукти можна зберігати в поліетиленових упаковках, оскільки висока вологість може спровокувати мікробіологічне псування за рахунок пліснявіння та зараження.

На розміри якісних втрат можуть впливати і структурні зміни речовин, гідроліз білків, крохмалю та ін., які призводять до зміни органолептичних властивостей, а іноді й втрати безпеки (глибокий гідроліз білків).

Речовини, що зменшують втрати. До них належать речовини, здатні утримувати вологу (білки, крохмаль, пектини) або мають бактерицидні властивості(поліфеноли, органічні кислоти, глікозиди). Останні запобігають мікробіологічному псуванню продукції та зменшують втрати м'якості.

Велике значення для розміру втрат має структура (будова) продовольчих товарів. Так, численні процеси, що спричиняють природні втрати, зумовлені саме структурою продукту (розпорошування продуктів із дрібномеленою структурою, розливання рідких і в'язких продуктів). Структура товару повністю визначає передреалізаційні втрати.

Зовнішні фактори – сукупність впливів довкілля, а також способів захисту від нього, що впливають на розміри втрат. Це умови, терміни зберігання (або транспортування), упаковка й операції передреалізаційної товарної обробки.

Ці фактори мають найістотніший вплив на розміри втрат в організаціях торгівлі та громадського харчування. Чинники довкілля у процесі транспортування, зберігання і товарної обробки регулюються.

Інформаційні заходи – заходи із забезпечення робочого персоналу необхідною інформацією про правила, норми та вимоги, встановлені нормативними й технологічними документами, які дають змогу запобігти втратам продукції чи зменшити їх.

До нормативних документів, що регламентують норми та правила зберігання, належать стандарти на продукцію, методи зберігання. Технологічні документи представлені інструкціями щодо зберігання продовольчих товарів певних асортиментних груп, а також інструкціями щодо порядку стіисання норм природних втрат. Крім того, умови та терміни транспортування встановлено в Правилах перевезення вантажів або кодексах відповідних транспортних органів.

Інформаційним носієм є також спеціальна товарознавча та технологічна література з питань зберігання продовольчих товарів. Важливу роль в інформаційному забезпеченні робочого персоналу відіграють фахове навчання, перепідготовка та підвищення кваліфікації.

Таким чином, заходи для запобігання втратам продукції або їх зниження повинні мати комплексний характер, що зумовлено складністю і важливістю проблеми товарних втрат.

Вирішення цієї проблеми, навіть часткове, взаємозалежне з іншою глобальною проблемою – раціонального використання природних ресурсів. Зниження товарних втрат на 10–20% дає змогу зберегти до 40–60% природних ресурсів.

Втрати продовольчих товарів незалежно від місця їх виникнення (у виробника, продавця або споживача) завдають великих економічних збитків не лише юридичним чи фізичним особам, з чиєї вини відбулися ці втрати, а й суспільству загалом.

Для забезпечення споживання харчової продукції на належному рівні доводиться нарощувати виробництво продовольчих товарів замість втрачених. Якщо з будь-яких причин збільшення виробництва неможливе, зменшується споживання, виникає підвищений попит і зростають ціни.

Товарні втрати є складником витрат виробництва або обігу, тому вони можуть вплинути на зростання цін. Своєю чергою, підвищення ціни знижує конкурентоспроможність товарів, навіть якщо інші критерії конкурентоспроможності залишаються незмінними. Зменшення конкурентоспроможності товарів неминуче призводить до зниження попиту та сповільнення збуту. Якщо фірма відносить втрати на рахунок прибутку, а не витрат обігу, знижується рентабельність підприємства.

Таким чином, товарні втрати погіршують результати фінансово-господарської діяльності організації, яка виготовляє чи продає продовольчі товари. Тому кожній організації надзвичайно важливо розробити комплекс заходів для запобігання втратам продукції та їх зниження з урахуванням факторів внутрішнього та зовнішнього середовища товарів.

Органолептичні методи. Це методи оцінки органолептичної якості продукції за допомогою органів відчуття людини. Органолептична якість – типові сенсорні властивості продуктів харчування: смак, запах, консистенція, зовнішній вигляд, форма, розмір, колір, блиск, звук, який виникає під час відкушування або відламування продукту тощо.

Суттєва перевага органолептичних методів – їх простота. Вони не вимагають спеціального апаратного забезпечення, дорогих реактивів, проте дають уявлення про харчову цінність аналізованої продукції. Результати органолептичного аналізу завжди є вирішальними під час оцінки якості харчової продукції, незалежно від її харчової цінності. Корисна та безпечна харчова продукція не буде викликати інтересу у споживачів, якщо вона не володіє хорошими смаковими властивостями, запахом, привабливим зовнішнім виглядом та консистенцією.

Не дивлячись на переваги органолептичних методів, вони не високо інформативні й не можуть бути використані для оцінки безпечності харчової цінності продуктів. Шляхом органолептичного аналізу неможливо оцінити присутність у продуктах харчування високотоксичних речовин (солей важких металів, радіонуклідів, пестицидів та ін.) та сполук корисних для організму (наприклад, вітамінів). Крім того, органолептична оцінка якості продукту –

суто якісна, а для визначення безпечності та харчової цінності продукції необхідним є кількісний фізико-хімічний або мікробіологічний аналіз.

Іншою особливістю органолептичного аналізу є відсутність об'єктивної реєстрації результатів із застосуванням спеціальної апаратури. Значення показників визначаються шляхом аналізу відчуттів експерта (або дегустатора). Тому достовірність одержаної таким шляхом інформації суттєво залежить від досвіду експерта та органів його відчуття.

Наприклад, деякі захворювання органів дихання суттєво знижують здатність людини до розпізнання запахів, а частковий дальтонізм може суттєво ускладнити оцінювання кольорових властивостей продукції. Через це, для проведення органолептичного аналізу формують групу з непарної кількості людей (зазвичай 5÷9 осіб), які володіють певними навичками, специфічними знаннями та перевіреною чутливістю.

Перед проведенням органолептичного аналізу дегустатори повинні пройти цілу низку випробувань, які включають перевірку сенсорної та смакової чутливості; здатності розрізняти основні смаки; визначення чутливості нюху; встановлення індивідуального рівня смакової чутливості.

Застосування бальних шкал в органолептичній оцінці якості харчових продуктів. Для органолептичної оцінки окремих показників якості харчової продукції використовують бальні шкали оцінки.

Шкали, які використовують при експертних оцінках, найчастіше безрозмірні, хоча інколи використовуються шкали у відсотках або частках від одиниці.

Бальна шкала являє собою впорядковану сукупність чисел та якісних характеристик, які приводяться у відповідність з оцінюваними властивостями об'єктів, які аналізують.

Нижче наведено приклад найпростішої 5-бальної шкали, яку часто застосовують при органолептичному аналізі, коли дегустаторами виступають не експерти, а пересічні громадяни:

Оцінка (бал)	Якісна характеристика
5	відмінно
4	добре
3	задовільно
2	погано
1	не придатне до вживання

Під час розробки бальних шкал враховують характер поставленої задачі, кількість експертів, необхідну точність результатів та можливість вербального опису рівнів якості. Для експертної оцінки якості продукції рекомендовано використовувати шкали з непарною кількістю позицій якості.

Існують 3, 5, 9, 10, 13, 20, 30, 50 та 100 бальні шкали оцінки якості харчової продукції. Проте, необхідно пам’ятати, що навіть досвідчений дегустатор не в змозі розрізнити більше, ніж 10 рівнів певного показника, тому спільним недоліком шкал із високою кількістю балів є наявність так званих «мертвих зон», які дегустатори не можуть опанувати.

ТЕМА 8. МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Харчові продукти – найскладніші об’єкти в санітарній мікробіології. Це пояснюється не тільки різноманітністю і великою кількістю мікрофлори в них, але й застосуванням мікроорганізмів у виробництві багатьох продуктів і, на жаль, відсутністю повноцінних методик виявлення мікробів.

Через харчові продукти можуть передаватися збудники багатьох інфекційних хвороб – черевного тифу і паратифів, сальмонельозів, дизентерії, ешеріхіозів, ботулізму, холери, бруцельозу, туберкульозу, сибірської виразки, деяких рикетсіозів (Ку-лихоманка) і вірусних інфекцій (ящур, поліомієліт та ін.). Харчові токсикоінфекції, що викликаються стафілококами і численними умовно-патогенними мікроорганізмами, виникають після вживання у їжу заражених харчових продуктів. Обсіменіння їх мікробами може відбуватися на

етапах заготівлі, зберігання та приготування. Харчові продукти зазвичай неможливо повністю звільнити від присутності мікроорганізмів без ризику зміни їх смакових якостей.

Наявність в їжі великої кількості різних факторів росту і вітамінів сприяє зростанню мікроорганізмів. Цей факт є основною відмінністю вивчення харчових продуктів з поміж інших санітарно-мікробіологічних досліджень, так як ані у воді чи грунті, ні тим більше в повітрі настільки бурхливого розмноження мікробів не відбувається. При цьому слід пам'ятати, що природна і нешкідлива для людини мікрофлора їжі служить біологічним захистом від небажаних «гостей". Як у будь-якому біоценозі, в ній можуть домінувати ті чи інші види, що впливають на якість харчових продуктів.

Уявлення про мікрофлору харчових продуктів може дати якісне або кількісне вивчення її популяції. При цьому слід пам'ятати, що роль конкретного мікроорганізму необхідно оцінювати не тільки після всебічного аналізу біоценозу, але й враховувати якість і характер досліджуваних продуктів. Наприклад, ентерококи можна розглядати як ознаку фекального забруднення, але їхні культури також застосовують під час виготовлення деяких продуктів, наприклад дієтичного кисляку або сиру "чеддер". Відповідно, у продуктах харчування розрізняють специфічну і неспецифічну мікрофлору.

Специфічна мікрофлора харчових продуктів представлена "культурними" промисловими штамами мікроорганізмів, що є обов'язковою ланкою в технології отримання харчових продуктів. Специфічні мікроорганізми використовують для приготування будь-яких кисломолочних продуктів, хліба, пива, вина, квашених овочів тощо. Під час приготування кефіру, кисляку, кумису, сиру, сметани, масла використовують *Lactococcus lactis.* У ці ж продукти для отримання сметаноподібного стану додають *Streptococcus cremoris*. Для заквашування кефіру використовують так звані кефірів зерна, що складаються з казеїну, який містить асоціації мікроорганізмів: молочно-кислі стрептококи, лактобацили, молочні та дріжджоподібні гриби. Наприклад, для

приготування ацидофіліну використовують промислові штами *Lactobacillus bulgaricus* та *Lactobacillus acidophilus.*

Контроль над чистотою культур штамів-продуцентів та їх збереженням здійснюють мікробіологи лабораторій відповідних підприємств харчової промисловості.

Неспецифічна мікрофлора харчових продуктів – це мікроорганізми, які випадково потрапляють на харчові продукти з навколишнього середовища. Основу її складають сапрофіти, патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми, а також види, що викликають псування харчових продуктів. У багатьох харчових продуктах присутня рясна сапрофітна мікрофлора, що викликає утворення різноманітних біоценотичних взаємозв'язків.

Присутність деяких сапрофітів сприяє розвитку біохімічних процесів, закономірних для харчового продукту, від яких залежить його якість та зберігання в результаті антагоністичної протидії патогенним бактеріям, які потрапляють у продукти. Ступінь забрудненості сторонньою мікрофлорою залежить від багатьох факторів: правильності заготівлі, транспортування, зберігання, технології подальшої обробки харчового продукту та від дотримання санітарного режиму на всіх указаних етапах.

Мікробіологічний аналіз якості харчових продуктів переслідує три мети:

1. Контроль якості сировини, яку використовують у виробництві харчових продуктів та оцінка санітарно-гігієнічних умов їх виготовлення;

2. Контроль режимів зберігання харчових продуктів та оцінка санітарно-гігієнічних умов їх транспортування та реалізації;

3. Контроль над забезпеченням епідемічної безпеки харчових продуктів.

При оцінці безпеки харчових виробів, насамперед, визначають їх мікробіологічний стан.

Гігієнічні нормативи за мікробіологічними показниками включають контроль наявності 4-х груп мікроорганізмів:

- санітарно-показових, до яких відносять мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми – КМАФАнМ і бактерій групи кишкової палички – БГКП (колі-форми);

- умовно-патогенні мікроорганізми, у тому числі коагулазо позитивні стафілококи (*Staphylococcus aureus*);
- патогенні мікроорганізми, у тому числі сальмонели;
- мікроорганізми псування – в основному, дріжджі й плісняві гриби.

Виявлення патогенів безумовно більш точне, але і більш трудомістке виконання, тому його використовують лише при первинній переробці м'яса, а також під час проведення деяких аналізів молока, м'ясних продуктів та контролю консервного виробництва.

Оцінку безпеки харчової продукції здійснюють за нормованою масою продукту, в якій не допускається присутність бактерій групи кишкових паличок, умовно-патогенних, а також патогенних мікроорганізмів. Для інших випадків норматив відображає кількість колонієутворюючих одиниць у 1 г або в 1 $см^3$ продукту (КУО/г, КУО/$см^3$).

Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроби (КМАФАнМ) – це мікроорганізми, які розмножуються за температури 25÷40 °С в умовах доступу кисню (аеробний) або його відсутності (анаеробний), одержуючи енергію за рахунок бродіння й у присутності його (енергію дихання) – факультативні анаероби. Показником санітарно-гігієнічного стану продукту є загальне обсіменіння КМАФАнМ.

Група бактерій кишкової палички дуже чисельна і складна за структурою. Бактерії групи кишкових паличок (БГКП) поділяють на 4 підгрупи: *Escherichia coli citrovorum*, *E. aerogenes*, *E. coli commune*, *E. paracoli*. Найчастіше зустрічаються *E. coli commune* і *E. paracoli*.

Бактерії групи кишкових паличок дуже мінливі, потрапляючи в зовнішнє середовище, вони втрачають багато характерних ознак. Тому до санітарно-показових мікроорганізмів відносять всі різновиди кишкової палички.

Харчові отруєння можуть спричиняти продукти з великою кількістю бактерій роду *Proteus* або групи *E. coli*. Вони є сапрофітами, але деякі їх види здатні виробляти токсини. Тому їх називають умовно-патогенними. Токсичні бактерії роду *Proteus* і кишкова паличка призводять до отруєння, подібного до сальмонельозу, але менш тривалого за часом.

До бактерій, що спричиняють *харчові інтоксикації, відносять деякі стафілококи, зокрема золотистий стафілокок* (*Staphylococcus aureus*). Стафілококове отруєння за частотою виникнення займає перше місце серед харчових отруєнь. Розвиваючись у харчових продуктах, у тому числі в кондитерських виробах, золотистий стафілокок виділяє ентеротоксин, який діє на кишечник людини. Ентеротоксин термостабільний, для його повного руйнування потрібне двогодинне кип'ятіння.

Для профілактики отруєння необхідно не допускати до роботи з харчовими продуктами осіб з гнійничковими захворюваннями шкіри, гострими катаральними запаленнями верхніх дихальних шляхів; дотримувати режими теплової обробки продуктів, що гарантує загибель токсину стафілококу; зберігати продукти в холодильниках за температури 2÷4 °С.

Харчові токсикоінфекції, як правило, виникають під впливом бактерії паратифозної групи *Salmonella*. Відомо більше 2 200 різних типів сальмонел. Кожен штам сальмонели потенційно здатний спричинити будь-який клінічний тип інфекції: черевний тиф, гастроентерит або локальний її прояв. Найбільшу загрозу становлять сальмонели черевного тифу, паратифу А і В та ін. Ці бактерії не утворюють екзотоксин, але при їх загибелі в організм хворої людини з клітин виділяється ендотоксин, що має сильну хвороботворну дію. Сальмонели – нестійкі бактерії. Вони гинуть при нагріванні до температури 60 °С впродовж 30 хв, але виживають при заморожуванні. Профілактика захворювання полягає в ретельному контролі продуктів і питної води на присутність бактерій. Для знищення бактерій рекомендують нагрівати їжу хоча б 10 хв за температури не нижче 75 °С. Бактерії роду *Salmonella* виявляють у молочному шоколаді, шоколадній глазурі, какаопорошку, порошкоподібних сумішах.

Спороутворюючі аеробні бактерії (САБ) часто знаходять у кондитерській сировині. При підвищеному вмісті САБ в сировині і готовому продукті містяться у значній кількості умовно-патогенні бактерії *Bacillus cereus*, що небезпечно для споживачів. Бактерії роду *Bacillus* – активні продуценти гідролітичних ферментів, які призводять до псування продуктів.

Газоутворюючі спорові бактерії призводять до спучування цукерок. Є відомості, що пролінові цукерки можуть бути контамінованими спороутворюючими аеробними бактеріями на 33÷75 %.

Патогенні мікроорганізми в кондитерських виробах не допускаються. Виявлення їх здійснюють у спеціальних лабораторіях, що мають ліцензії на їх визначення. Тому у виробничих лабораторіях наявність патогенних мікроорганізмів не контролюють.

До мікроорганізмів псування відносять, в основному, гриби і дріжджі. Найпоширеніші плісняві гриби родів *Aspergillus* і *Penicillium*, які розмножуються конідіями. Гриби роду *Aspergillus* призводять до пліснявіння харчової продукції. Цвілий продукт має неприємний запах і смак, і залежно від ступеня пліснявіння може призвести до харчового отруєння. Гриби роду *Penicillium* провокують утворення на харчових продуктах зеленої гроновидної цвілі. Під впливом конідій грибів на продуктах з'являється сизий пил. Ця цвіль дуже легко поширюється і за наявності вологи виявляється на всіх харчових продуктах. Конідії *Penicillium* постійно знаходяться у повітрі, на плодах, ячмені і солоді, особливо на роздушених зернах. Окремі види грибів цього роду служать для виготовлення лікувальних препаратів – антибіотиків групи пеніциліну.

Гриби роду *Rhizopus* також поширені й утворюють чорну цвіль, яка розростається з великою швидкістю. Цвіль може навіть підніматися вгору по стінках судин. Продукти, уражені цією цвіллю, затягуються павутиноподібним міцелієм. Захворювання, причиною яких є плісняві гриби, що накопичують токсичні (отруйні) речовини в харчових продуктах, називають мікотоксикозами.

8.1.Умови існування мікроорганізмів

Усвідомлення взаємозв'язку умов життя мікроорганізмів та їх поведінки має величезне значення при виробництві і зберіганні харчових продуктів. За відповідних умов більшість мікроорганізмів росте або розмножується. В ідеальних умовах деякі бактерії можуть рости і ділитися кожні 20 хвилин,

тобто, одна клітина за 8 годин може дати 16 млн. клітин. Це, наприклад, може статися за одну ніч на погано продезінфікованому обладнанні або інвентарі. За несприятливих умов час генерації (час подвоєння кількості) збільшується. При збільшенні часу генерації до 2 годин, через 8 годин чисельність популяції буде дорівнювати лише 16 клітинам. Збільшення чисельності мікроорганізмів або швидкість їх росту залежить не лише від самих мікроорганізмів, але й від присутності води, наявності живильних речовин, кислотності (pH) середовища, температури.

Як і всьому живому, мікроорганізмам потрібна вода. Клітина на 80÷90 % складається з води. Продукти розпаду і живильні речовини повинні розчинятися у воді, щоб проникнути через клітинну оболонку. Вода – основний компонент клітини, розчинник, а також засіб транспорту речовин. Зі зниженням вологості інтенсивність розмноження мікроорганізмів знижується і при досягненні певного вмісту вологи припиняється. Однак для розвитку мікроорганізмів має значення не абсолютна вологість, а доступність води для розвитку мікроорганізмів, так звана активність води.

«Активність води» (aw) – відношення тиску водяної пари над продуктом до тиску водяної пари над чистою водою за одній і тієї ж температури, пропорційне рівноважній відносній вологості, при якій виріб не поглинає і не віддає вологу в атмосферу. «Активність води» може змінюватися від 0 до 1.

При зменшенні aw харчового продукту кількість здатних до росту мікроорганізмів і швидкість їх росту знижується. Активність води може бути знижена шляхом видалення вологи (сушінням) або шляхом додавання розчинних речовин (наприклад, солі або цукру). У продуктах з високою вологістю при активності води 0,88÷0,98 можуть розвиватися різні бактерії, пліснява, дріжджі; із середнім вологовмістом при активності води 0,6÷0,88 розвиток мікроорганізмів обмежений, а з низькою вологістю при активності води нижче 0,6 бактерії, пліснявілі гриби, дріжджі практично не розвиваються.

Окрім вмісту вологи в продукті дуже важливу роль відіграє вологість навколишнього середовища. Продукти, що містять мало вологи, вбирають її з повітря, внаслідок чого за сприятливих умов на них розвиваються гриби, цвіль.

Натомість, насичені вологою продукти, такі, як м’ясо, втрачають вологу з поверхневого шару в сухому повітрі або в холодному приміщенні, тому створюються несприятливі умови для розвитку поверхневого псування.

Як і всім живим істотам, мікроорганізмам окрім води потрібні живильні речовини, що включають: джерело вуглеводу, джерело азоту, мінеральні речовини. Деякі мікроорганізми потребують ще й додаткових чинників для росту. У харчовій промисловості потрібно брати до уваги, що для мікроорганізмів живильні речовини так само важливі, як і для людини. Якщо залишки харчових продуктів залишаються на підлозі або устаткуванні, то мікроорганізми можуть розвиватися з дуже великою швидкістю.

Всі мікроорганізми добре розвиваються при pH середовища 6÷8. Проте, при pH<4,5 здатні розвиватися лише деякі види бактерій, включаючи гриби і дріжджі. Тому слабко кислі продукти можуть бути зіпсованими кислототолерантними бактеріями (молочнокислими бактеріями і деякими ентеробактеріями), а більш кислі продукти – дріжджами і пліснявою. Дія температури і pH пов’язані між собою. Мінімальне значення pH для росту при оптимальній температурі може бути значно нижчим, ніж при низьких температурах. Патогенні бактерії при pH<4,5 не розмножуються і гинуть. Однак є дані, що патогенна кишкова паличка *E. coli O157:H7* може зростати при pH=4,0 і довгий час витримувати більш низькі значення pH.

Крім pH, на стійкість харчових продуктів до мікроорганізмів впливає вид кислоти. Органічні кислоти (молочна, оцтова, лимонна, яблучна) мають більшу антибактеріальну дію, ніж неорганічні (хлоридна, сульфатна). Антибактеріальна дія органічних кислот зазвичай знижується в такому порядку: оцтова, молочна (α-оксіпропіонова), лимонна, а потім яблучна кислота. При підвищеному значенні pH, наприклад, при pH≥9 багато бактерій припиняють розмноження.

Температура помітно впливає на зростання мікроорганізмів. Деякі мікроорганізми краще розвиваються за високої температури (40÷50 °C), інші – за низької, між 4 і 7 °C. Кожен тип мікроорганізмів має свою оптимальну

температуру, при якій краще всього відбувається розмноження. Відповідне підвищення або пониження температури веде до уповільнення цього процесу.

Прокаріоти здатні існувати в набагато ширшому діапазоні умов зовнішнього середовища, ніж еукаріоти. Так, серед них є організми, що здатні виживати при температурі близько 300 °С, критичних значеннях pH (кислому – pH=1 та лужному – pH=11) та концентрації солі близько 30%.

За чутливістю до температури мікроорганізми ділять на 5 груп:

1. Психрофільні мікроорганізми (психрос – холод). Це холодолюбиві мікроорганізми, що пристосувались до існування за понижених значень температури (від -5 до +20 °С). Здатність рости в умовах низьких температур пов'язують з особливостями їх ферментів та мембранних ліпідів.

2. Психротропні мікроорганізми (тропос – напрям). Розмножуються за температури від 0 до +40 °С. Це основні мікроорганізми, що спричиняють псування охолоджених продуктів.

3. Мезофільні мікроорганізми (мезо – середній). Ця група мікроорганізмів зростає і розмножується за температури від +5 до +45 °С.

4. Термотропні мікроорганізми (термо – тепло), оптимальна температура для їх життєдіяльності – від +20 до +50 °С.

5. Термофільні мікроорганізми. Ці мікроорганізми живуть і розмножуються за температури від +40 до +80 °С.

Окрім умов середовища, які розглянуті вище, існують інші, не менш важливі умови, що також впливають на зростання і розвиток мікроорганізмів:

- взаємовідносини між різними групами мікроорганізмів, що співіснують в однакових умовах. Прикладом може слугувати співжиття молочнокислих бактерій та дріжджів. Бактерії утворюють молочну кислоту, яка підкислює середовище, створюючи сприятливі умови для розвитку дріжджів;
- присутність або відсутність кисню (аеробні або анаеробні), газове середовище, сприятливе для зростання. Здатність мікроорганізмів розмножуватись у певному газовому середовищі широко використовують при виборі виду упаковки продукції. Наприклад, бактерії роду *Pseudomonas* потребують для росту присутності кисню. Тому використання вакуумної

упаковки або модифікованого газового середовища, до складу якого не входить кисень, пригнічує ріст цієї групи мікроорганізмів. Хоча інші мікроорганізми можуть рости і без кисню, вони часто ростуть повільніше, тому виникнення мікробіологічного псування затримується;

- присутність або відсутність антимікробних речовин: консервантів, барвників, ПАР. Для підтримання мікробіологічної стабільності в харчові продукти, зокрема в кондитерські вироби, додають природні або штучні консерванти (наприклад, бензойну, сорбінову кислоти, їх солі). Дріжджі і пліснявілі гриби зазвичай стійкіші до дії консервантів, ніж бактерії, тому на кінцевому етапі можуть переважати в мікрофлорі, що спричиняє псування. Останнім часом посилилась тенденція до зменшення або виключення консервантів зі складу продукції. Треба бути обережними, бо навіть незначні зміни в складі продукції без коригування термінів і умов зберігання можуть призвести до передчасного псування.

Щоб максимально унеможливити мікробіологічне забруднення слід приділяти велику увагу гігієнічним умовам всього технологічного процесу. Для досягнення найвагоміших результатів доцільно застосовувати системи управління безпекою (НАСС Р) і якістю (ISO 9001). Необхідно підвищувати професійну підготовку осіб, зайнятих у виробництві, збутом, роздрібною торгівлею та інформованість споживачів щодо гігієнічних аспектів у поводженні з харчовими продуктами.

8.2. Відбір проб для аналізу харчових продуктів

Для мікробіологічного аналізу відбирають одиниці продукції, що не містять ознак зовнішніх ушкоджень, а також дефектів пакування. Одиниці продукції – певна кількість екземплярів поштучної продукції або певний об’єм чи маса не поштучної продукції. Проби для аналізу відбирає мікробіолог підприємства або інша відповідальна особа. *Пробою* називають невелику кількість досліджуваного продукту, що являє собою суму проб з різного місцерозташування товару у пакуванні. Для мікробіологічного аналізу користуються вибіркою, що скаладається не менше трьох паралельних проб.

Відібрані проби поміщають у посуд або обгортають щільним папером чи фольгою. Кожну відібрану пробу маркують відповідно до коду контрольованої партії та нумерують. За результатами відбору проб складають протокол, у якому вказують: номер протоколу, дату, час та місце відбору проб, мету мікробіологічного аналізу, найменування продукту, виробника, дату виготовлення і номер партії, результати органолептичного аналізу та виявлені дефекти тари і харчового продукту.

Проби зберігають до початку аналізу за кімнатної температури не більше 24 год, продукти, що швидко псуються – за температури 0÷5 ºС не більше 6÷8 год, швидкозаморожені продукти – за температури -12÷-18 ºС не більше 24 год. Зважують необхідну наважку продукту, взяту стерильним пінцетом, на стерильному посуді. Тверді харчові продукти попередньо подрібнюють у стерильній порцеляновій ступці. Для підготовки робочого розведення наважку (10 г) продукту переносять у стерильну колбу зі стерильним пептоново-сольовим розчином (90 $см^3$), ретельно перемішують круговими рухами та залишають відстоятися 4÷5 хв, у результаті проведених маніпуляцій отримують вихідний розчин з розведенням 10^{-1}. Після відстоювання надосадову рідину використовують для подальших розведень, які дозволяють при висіві на поживне середовище отримати в чашці Петрі від 30 до 300 колонієутворюючих одиниць (КУО). Кількість специфічних мікроорганізмів має бути менша: наприклад стафілококів від 15 до 150 КУО, пліснявілих грибів від 5 до 50 КУО.

Питання для контролю і самоперевірки

1. У чому полягає мікробіологічна небезпека харчових продуктів?
2. Як формується специфічна мікрофлора харчових продуктів, яка її роль?
3. Укажіть види мікроорганізмів, які складають неспецифічну мікрофлору харчових продуктів.
4. Назвіть основні показники санітарно-мікробіологічного аналізу якості харчових продуктів.
5. Поясніть мету проведення мікробіологічного аналізу якості харчових продуктів.

6. Опишіть, як проводиться забір проб для мікробіологічного аналізу харчових продуктів.
7. Укажіть, на які групи поділяють мікроорганізми за чутливістю до температури.
8. Поясніть поняття “активність води”.
9. Як впливає pH середовища на життєдіяльність мікроорганізмів?
10. Укажіть фактори середовища, які впливають на зростання і розвиток мікроорганізмів.

8.3. Мікробіологія молока та молочних продуктів

Молоко – один із найбільш корисних і цінних продуктів харчування людини. За харчовою цінністю воно може замінити будь-який продукт, але жоден продукт не замінить молока.

Свіжовидоєне молоко здорової корови стерильне; pH свіжого молока дорівнює 6,8. Однак у вивідних протоках молочних залоз корови нерідко зустрічаються різноманітні бактерії, переважно представники родин: *Micrococcaceae, Bacillaceae, Echerichia, Corinebacterium, Lactobacillaceae,* тому в перших порціях молока часто присутні ці мікроорганізми. Під час доїння рекомендують перші порції молока виливати.

У сирому молоці, навіть при дотриманні санітарно-гігієнічних умов, зазвичай виявляють деяка кількість бактерій. Мікроорганізми в молоко потрапляють з різних джерел: з посуду, з ґрунту, з повітря, з вимені корови, з рук персоналу. Сукупність цих мікроорганізмів (дріжджі, гриби, різноманітні бактерії) становить так звану спонтанну мікрофлору молока.

У збірному молоці, відібраному безпосередньо на фермах, загальна кількість бактерій – від $4{,}6 \cdot 10^4$ до $1{,}2 \cdot 10^6$ в 1 $см^3$.

Мікрофлора свіжого молока різноманітна. У ньому виявляють бактерії молочнокислі, маслянокислі, групи кишкової палички, гнильні й ентерококи, а також дріжджі. Присутність непатогенних бактерій звичайно не має великого значення, якщо тільки не спричиняє тих або інших змін молока:

- консистенції: так зване «тягуче» молоко – результат діяльності бактерії *Alcaligenes viscolactis*;
- кольору: синє молоко – результат діяльності бактерії *Pseudomonas syncyanea*, червоне молоко – результат діяльності бактерії *Serratia marcescens*.

Залежність зростання мікрофлори в молоці від температури зберігання відображена в таблиці 8.1.

Молоко з початковим числом мікроорганізмів 6250 в 1 см^3 було розділене на 2 порції, але порції зберігалися при температурі 12°С і 22°С.

Таблиця 8.1

Залежність зростання мікрофлори в молоці від температури зберігання

Час дослідження	Кількість мікроорганізмів в 1 см^3 при різних температурах зберігання	
	12 °С	22 °С
Негайно після обробки	6250	6250
Через 4 години	5000	2500
Через 8 годин	12500	310000
Через 24 години	87700	11000000

© Національний аграрний університет books.nauu.edu.ua

Число бактерій у сирому молоці, що реалізується на продовольчих ринках, значно коливається залежно від обсіменіння його в період обробки, тривалості і температури зберігання. В сиромумолоці, яке реалізується на ринках, вміст бактерій може досягати десятків і навіть сотень мільйонів в 1 см^3. Причому за зовнішнім виглядом таке молоко інколи немає ознак псування.

Зміни в молоці залежать не тільки від кількості, але і від якості мікрофлори, а також від тривалої дії бактеріальних ферментів на органічні речовини молока.

У зв'язку з особливостями мікроорганізмів окремих видів і різної оптимальної температури, яка необхідна для їх розвитку, склад мікрофлори молока може змінюватися залежно від температурних умов його зберігання. При температурі 5-10°С розвиваються різні флюоресцуючі бактерії, бактерії групи протея, мікрококи, спороутворюючі палички. Ці мікроорганізми хоч і повільно, але можуть викликати зміни в білках молока, інколи надаючи йому

гіркого смаку. При температурі в межах 10-15°С одночасно починається розвиток молочнокислих стрептококів. При температурі 15-25°С в молоці вже відбувається переважний розвиток молочнокислих стрептококів. При температурі вище 25°С розвиваються молочнокислі стрептококи, а також молочнокислі палички.

При зберіганні молока за температурних умов, що сприяють розвитку мікроорганізмів, змінюється співвідношення між окремими їх групами. Це можна бачити з таблиці 8.2, в якій приведені дані про ріст мікрофлори і про зміни в її складі.

Таблиця 8.2

Розмноження мікрофлори залежно від терміну зберіганняі молока

Термін зберігання молока, год	Загальна кількість бактерій в 1 см³ молока, тис.	Бактеріальні групи, %		
		молочнокислі	кишкової палички	інші, зокрема гнилісні
2	195	6,2	7,6	86,2
12	4750	5,1	1,8	93,1
24	59000	37,4	5,1	57,5
36	528000	90,2	5,0	4,8
48	1023000	94,6	3,1	2,3
60	994000	96,1	3,0	0,9
72	687000	95,4	2,3	2,3
84	420000	96,3	1,1	2,6

У зв'язку з впливом температурного фактора на кількісний та якісний стан мікрофлори, основною умовою зниженням мікробного обсіменіння молока є забезпечення такого температурного режиму його зберігання, при якому були б створені сприятливі умови для життєдіяльності і розмноження небажаної мікрофлори, зокрема гнильних мікроорганізмів.

Отже, бездоганне за хімічним складом молоко, одержане за незадовільних санітарно-гігієнічних умов, швидко може стати непридатним для вживання або навіть шкідливим для здоров'я споживачів. Ось чому корів необхідно утримувати в добротних приміщеннях з відповідним обладнанням і нормальним мікрокліматом, організовувати добрий догляд за тваринами, постійно підтримувати чистоту й належний санітарний стан, суворо

дотримуватись гігієни при доїнні, відповідних санітарних правил при первинній обробці, зберіганні й транспортуванні молока, а також переробці його на молочних підприємствах. Створення відповідних санітарно-гігієнічних умов треба починати з вибору місця під забудову молочної ферми, експертизи проектів будівництва і капітального ремонту тваринницьких приміщень. Одночасно має бути приділена належна увага благоустрою території ферми, її озелененню та захисту від заносу інфекційних та іншиххвороб.

Серед усіх санітарних заходів та умов одержання молока високої санітарної якості основне значення має санітарний догляд за доїльною апаратурою, молочним посудом, охолоджувачами. Молочними танками тацистернами молоковозів. Щоб надійно одержувати високоякісне молоко, доїльну апаратуру, молочні танки, охолоджувачі необхідно митий дезінфікувати після кожного циклу використанняї х, тобто після кожного доїння.

Спонтанну мікрофлору розглядають як показник свіжості та санітарного стану молока. Мікрофлору молока можна звести до мінімуму при строгому контролі за санітарним станом молочного господарства, швидкому охолодженні та пастеризації молока.

Розвиток мікроорганізмів у молоці проходить кілька фаз. Мікроорганізми, що потрапили в молоко, спочатку не розмножуються, тому що у свіжовидоєному молоці є специфічні бактерицидні речовини, наприклад, лактеніни, які затримують ріст бактерій. Період часу, протягом якого зберігаються бактерицидні властивості молока, називають ***бактерицидною фазою***. Бактерицидність молока з часом знижується і тим швидше, чим більше в молоці бактерій і вища його температура. Щойновидоєне молоко має температуру близько 35°С. За температури 30°С бактерицидна фаза молока з невеликим початковим обсіменінням продовжується до 3 год, за 20°С – до 6 год, за 10°С – до 20 год, за 5°С – до 36 год, за 0°С – до 48 год. За однієї і тієї ж температури витримки бактерицидна фаза буде значно коротшою, якщо молоко рясно обсіменене мікробами. Так, в молоці з початковим бактерійним обсіменінням 10^4 в 1 $см^3$ бактерицидна фаза за температури 3÷5°С триває 24 год

і більше, а при вмісті в 1 $см^3$ 10^6 бактерій – тільки 3÷6 год. Щоб подовжити бактерицидну фазу молока необхідно швидше охолодити його, принаймні до 10°С. Надалі при зберіганні молока кількість мікроорганізмів, що містяться в ньому, і співвідношення між окремими їх видами змінюється. Характер цих змін залежить від температури і тривалості зберігання, а також від первинного складу мікрофлори молока.

Після закінчення бактерицидної фази починається розмноження бактерій і воно відбувається тим швидше, чим вища температура зберігання молока. Якщо молоко зберігати за температури більшее 8÷10°С, то вже у перші години після бактерицидної фази в ньому починають розвиватися різні бактерії. Цей період називають ***фазою змішаної мікрофлори***.

До кінця цієї фази розвиваються, в основному, молочнокислі бактерії, у зв'язку з чим починає підвищуватися кислотність молока. У міру накопичення молочної кислоти розвиток інших бактерій, зокрема гнильних, пригнічується. Деякі з них навіть відмирають і наступає перевага молочнокислих бактерій – ***фаза молочнокислих бактерій***; молоко під час цієї фази скисає.

Далі розпочинається ***фаза розвитку дріжджів, грибів і гнильних бактерій***. Молочна кислота, яка нагромаджується, призводить до загибелі молочнокислих бактерій, завдяки чому створюються сприятливі умови для розвитку кислотостійких дріжджів, мікроміцетів та гнильних бактерій, що руйнують білки молока. У молоці, яке зберігають за температури нижче 10÷8°С молочнокислі бактерії майже не розмножуються, що сприяє розвитку (хоча і повільному) холодостійких бактерій, частіше роду *Pseudomonas*, здатних викликати розкладання білків і жиру; при цьому молоко набуває гіркого смаку.

Через молоко можуть передаватися збудники багатьох інфекційних захворювань, які потрапляють у нього від хворих тварин, людей і бактеріоносіїв, а також з довкілля. Молоко є надзвичайно багатим середовищем на поживні сполуки для багатьох мікроорганізмів, у тому числі і патогенних. У молоці ці мікроорганізми не тільки довго зберігаються, але й активно розмножуються (збудники тифо-паратифозних захворювань, дизентерії, бруцельозу). Стафілококи, розвиваючись, синтезують екзотоксин, що спричиняє важке

харчове отруєння. Тому санітарно-гігієнічному стану молока повинна приділятися особлива увага.

Для збереження молока у свіжому вигляді його охолоджують на молочній фермі або збірному пункті до температури 6÷3 °С і в охолодженому стані доставляють на молокозаводи. Молоко очищають від механічних забруднень, пастеризують або стерилізують, охолоджують, розливають у фляги, пляшки або іншу тару й направляють на реалізацію.

Відповідно до вимог держстандарту України (ДСТУ) у молоці для оцінки санітарно-гігієнічного стану визначають такі мікробіологічні показники: мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроби, бактерії групи кишкових паличок, патогенні мікроорганізми, у тому числі сальмонели. Кількість останніх не допускається у 25 $см^3$ продукту, золотавого стафілококу – у 0,1 $см^3$, лістерій – у 25 $см^3$.

За вмістом мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікробів визначають ступінь загального забруднення молока мікрофлорою, що дає змогу оцінити його якість як сировини.

До основних молочних продуктів відносять кисломолочні продукти, вершкове масло, маргарин, сир. Кисломолочні продукти відіграють важливу роль у харчуванні людини, оскільки, крім харчової цінності, вони мають дієтичне, деяке лікувальне значення. Кисломолочні продукти засвоюються краще, ніж цільне молоко і значно швидше. У порівнянні з молоком кисломолочні продукти володіють підвищеною стійкістю під час зберігання. Крім того, вони мають середовище, несприятливе для розвитку багатьох патогенних бактерій. Це зумовлено їх підвищеною кислотністю і вмістом антибіотичних речовин, що виробляються деякими молочнокислими бактеріями.

Мікрофлора кисломолочних продуктів може бути представлена:

- залишковою мікрофлорою після пастеризації молока – термостійкі молочнокислі палички, спороутворюючі бактерії, ентерококи, бактеріофаги тощо;
- заквашувальною мікрофлорою, яку вносять із закваскою, залежно від виду

кисломолочного продукту;

- вторинною (контамінуючою) мікрофлорою.

Якість і специфічні властивості кисломолочних продуктів, багато в чому, залежать від спрямованості й інтенсивності мікробіологічних процесів, які відбуваються під час виготовлення продуктів. Вирішальне значення має нормальний перебіг молочнокислого бродіння. В умовах промислової переробки молока при виготовленні різних кисломолочних продуктів його заздалегідь пастеризують, а потім заквашують спеціально підібраними заквасками з чистих або змішаних культур молочнокислих бактерій. Застосування заквасок мікроорганізмів з відомою біохімічною активністю дозволяє отримати продукт з певними хімічними і органолептичними властивостями, уникнути розвитку випадкових мікроорганізмів, які порушують нормальний перебіг молочнокислого бродіння (що буває при мимовільному скисанні молока), і забезпечує високу якість готової продукції. Режим технологічного процесу повинен бути тісно пов’язаний з властивостями заквашувальної мікрофлори. Велике значення має активність використовуваної закваски і якість молока, яке переробляють. Іноді відбувається сповільнене скисання молока унаслідок пониженого вмісту в ньому сухих речовин, вітамінів, наявності антибіотиків, використовуваних при лікуванні тварин. Втрата активності закваски може бути зумовлена наявністю в молоці бактеріофага. Має значення і склад остаточної мікрофлори пастеризованого молока. Між її компонентами і заквашувальними мікроорганізмами можуть виникати різні взаємодії, що стимулює або гальмує розвиток корисної мікрофлори. При ослабленні молочнокислого процесу створюються умови для розвитку незаквашувальної мікрофлори, що призводить до появи різних дефектів готового продукту.

Кисломолочні продукти поділяють на продукти молочнокислого бродіння (сир кисломолочний, сметана, простокваша, ряжанка, ацидофілін, йогурт) і змішаного бродіння – молочно-кислого, спиртового, пропіоновокислого тощо (кефір, ацидофільно-дріжджове молоко, кумис та ін.).

У перших – бактерії розщеплюють молочний цукор з утворенням молочної кислоти, під дією якої казеїн молока коагулює (випадає у вигляді пластівців), у результаті чого засвоюваність продукту, в порівнянні з молоком, істотно підвищується.

У продуктах змішаного бродіння поряд з молочною кислотою з молочного цукру утворюються й інші продукти, наприклад, спирт, вуглекислий газ, леткі кислоти, що також підвищує засвоюваність продукту. За вмістом білків і жиру кисломолочні продукти майже не відрізняються від незбираного молока.

Кисломолочні напої характеризуються різним складом мікрофлори і особливостями приготування. Розрізняють традиційні кисломолочні напої – кефір, ряжанка, сметана, простокваша, йогурт і функціональні кисломолочні напої, збагачені різними пробіотичними культурами – *Bifidobacterium, Lb. acidophilum, Lb. plantarum* тощо. Найвідоміший приклад – біокефір, біфілін, біфілайф та ін.

Кефір – це продукт змішаного бродіння – молочнокислого, спиртового та оцтовокислого. Кефір характеризується неповторним смаком, пінною консистенцією, істотно відрізняється від смаку інших кисломолочних продуктів. Це пояснюється специфікою біології кефірних грибів, які поєднують в собі мікроорганізми різних таксономічних груп. Співвідношення між цими складниками динамічне й істотно залежить від багатьох факторів – температури, складу молока, способу його оброблення, терміну сквашування тощо. Мікрофлора кефіру бере активну участь у формуванні якості продукту та виникненні його вад.

Мезофільні молочнокислі стрептококи є основною мікрофлорою, яка забезпечує активне кислотоутворення із самого початку процесу сквашування і формування згустку. Кількість лактококів у готовому продукті досягає $1 \div 10^7$ КУО/см^3. Ароматоутворюючі молочнокислі бактерії представлені в кефірній заквасці в основному *Leuconostos mesenteroides subsp dextranicum, Lc. lactis subsp. lactis biovar diacetylactis,* що розвивається під час виробництва кефіру значно повільніше, і досягають $1 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^8$ КУО/см^3. Ароматоутворюючі

молочнокислі стрептококи утворюють у кефірі ароматичні речовини, такі як: диацетил, вуглекислий газ.

Мезофільні молочнокислі палички (бета- і стрептобактерії), наприклад *Lb. plantarum* та *Lb. casei,* також присутні в кефірі, однак кількість клітин цих бактерій така мала ($1 \cdot 10^2 \div 1 \cdot 10^3$ КУО/см^3), що вони не впливають істотно на якість кефіру. При контролі якості кефіру їх не враховують.

Оцтовокислі бактерії присутні в кефірі у кількості $1 \cdot 10^4 \div 1 \cdot 10^5$ КУО/см^3. Вони розвиваються повільніше ніж молочнокислі стрептококи і сприяють формуванню згустку та смаку. Зайвий розвиток оцтовокислих бактерій у кефірі може призвести до появи слизуватої тягучої консистенції та такої вади, як їдкий кислий смак.

Бактерії групи кишкової палички потрапляють у молоко та у кефір з устаткування і навколишнього середовища. Під впливом антагоністичного впливу мікрофлори кефіру їхня кількість знижується до вихідного рівня, що міститься в продукті після заквашування або повністю зникає.

Плісняві гриби *(Geotrichum candidum)* потрапляють у кефір з устаткування, з повітря, при тривалому зберіганні кефіру можуть розвиватися на його поверхні.

Серед цвілі основним збудником псування є молочна цвіль (*Oidium lactis*), що росте на поверхні продукту у вигляді товстої, бархатистої плівки кремового кольору. При цьому відчувається згірклість продукту, сторонній неприємний запах, оскільки цей гриб володіє високою протеолітичною і ліполітичною активністю.

Дріжджі бувають двох видів – ті, що зброджують лактозу і ті, що не здатні до зброджування лактози. Зайвий розвиток дріжджів може відбуватися за підвищених температур сквашування та витримці продукту за цих температур.

Кумис – це також продукт змішаного бродіння, приготування якого, як і кефіру, засноване на молочнокислому і спиртному бродіннях. Кумис готують із кобилячого молока, яке відрізняється від коров’ячого більшим умістом лактози, розчинених азотистих сполук і вітамінів, зокрема вітаміну С, але в ньому менше жиру. При скисанні кобилячого молока казеїн випадає у вигляді дуже дрібних пластівців. До складу закваски входять термофільні

молочнокислі бактерії (болгарська й ацидофільна палички) і дріжджі, що зброджують лактозу та володіють антибіотичною активністю. Спиртове бродіння протікає активно; кількість спирту сягає 2÷2,5 %.

Ряжанка – національний кисломолочний напій, особливо для південних регіонів України. Для її одержання у молоко вносять закваску на основі термофільних молочнокислих стрептококів, здатних до синтезу в'язких екзополімерів. Іноді додають болгарську паличку у співвідношенні до стрептокока 1:4÷1:5. Середній вміст термофільного стрептокока повинен становити $1 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^8$ КУО/см^3.

Йогурт є результатом життєдіяльності симбіотичної композиції термофільного молочнокислого стрептокока і болгарської палички *Lb.delbrueckii subsp.bulgaricus* у співвідношенні 1:1. Середній вміст термофільних стрептококів і болгарської палички в 1 см^3 продукту становить $1 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^8$ КУО/см^3. У разі порушення необхідного співвідношення між ними ці мікроорганізми можуть спричиняти вади йогурту. Так, коли переважають термофільні стрептококи, то спостерігається тягуча консистенція та нехарактерний для цього продукту смак, а за домінування болгарської палички – надмірно кислий смак.

Для виробництва *сметани* традиційною заквашувальною мікрофлорою є набір трьох підвидів мезофільних лактококів: *Lc. lactis ssp. lactis, Lc. lactis ssp. lactis bv. diacetilactis, Lc. lactis ssp. cremoris.* З метою пришвидшення кисломолочного процесу і поліпшення текстури продукту до складу заквасок для сметани додають термофільні стрептококи, оцтовокислі бактерії, ацидофільні палички.

Останнім часом популярним стає використання функціональних кисломолочних продуктів. Характерною особливістю таких кисломолочних продуктів є залучення пробіотичних штамів молочнокислих та біфідобактерій таких видів, як: *S. salivarius ssp. thermophilus, Lb. acidophilus, Lb. casei, Bifidobacterium bifidum.*

Незважаючи на високий антагоністичний потенціал молочнокислих бактерій, порушення технологічного регламенту та недотримання санітарно-

гігієнічних вимог виробництва можуть спричиняти активний розвиток контамінуючої мікрофлори, що призводить до утворення в'ялого згустка, нетипового смаку і зниження корисних властивостей продукту.

Отже, різні кисломолочні продукти характеризуються властивою тільки даному видові продукту мікрофлорою.

На кисломолочні продукти не встановлюють нормативні вимоги за мезофільними аеробними і факультативно-анаеробні мікробами, оскільки неможливо розмежувати їх із мікроорганізмами закваски через низьку селективність діагностичних середовищ. Кисломолочні продукти аналізують за кількістю мікрофлори закваски, а у разі необхідності – за окремими складовими закваски. Зазвичай їх регламентують нормативними документами.

Щодо сторонньої мікрофлори, то кисломолочні продукти перевіряють на наявність бактерії групи кишкових паличок патогенних мікроорганізмів, *S. aureus,* дріжджів і пліснявих грибів. Морфологію молочнокислих бактерій у кисломолочних продуктах визначають мікроскопіюванням.

Молочний жир вважають найціннішою складовою частиною молока, хоча за біологічною цінністю білки молока перевершують жир. Молочний жир слугує насамперед джерелом енергії для людини. Найважливіша властивість молочного жиру – приємний смак, у ньому містяться жиророзчинні вітаміни А, Б і Е.

Вершкове масло виробляють з пастеризованих вершків двома способами: перетворенням високожирних вершків і збиванням. Кількість і видовий склад мікроорганізмів у вершковому маслі залежать від виду масла і способів його виготовлення. При виготовленні масла будь-яким способом у нього можуть потрапити бактерії з вершків, апаратури, повітря, води. Кількість бактерій у пастеризованих вершках зазвичай невелика – від сотень до декількох тисяч в 1 $см^3$. Це, в основному, спорові палички та мікрококи, серед яких зустрічаються такі, що здатні розщеплювати молочний жир і білки.

Швидкість розвитку бактерій, які потрапили в масло, залежить від способу одержання вершкового масла, тому що бактерії можуть розмножуватися тільки в плазмі масла. *Плазма масла* – це водний розчин білків, молочного цукру і солей.

Плазма міститься в маслі у вигляді крапельок різної величини. Плазма масла, виробленого способом перетворення високожирних вершків, має високий ступінь дисперсності, тому розвиток бактерій у такому маслі йде повільно. Плазма масла, виробленого методом збивання, більш доступна бактеріям і вони розвиваються значно швидше.

Спред – харчовий жировий продукт, який складається з молочного та рослинного жиру з масовою часткою загального жиру від 50 % до 85 %, в якому частка молочного жиру не менше 25 % від загального жиру, із щільною або м'якою консистенцією з(без) додаванням харчових добавок, наповнювачів та вітамінів.

Зберігання масла за недостатньо низьких температур змінює його якість, в основному в результаті перебігу мікробіологічних процесів. Тому для характеристики масла має значення загальна кількість бактерій (КМАФАнМ), у тому числі гнильних, розвиток яких призводить до сильної пептонізації і наступного глибокого розпаду білка з утворенням речовин з неприємним запахом. У результаті виникають вади масла: нечистий, гіркий, сирний смак (присмак Рокфору).

Серед мікроорганізмів, які потрапили в масло, може бути і кишкова паличка, наявність якої є показником санітарного стану підприємства. Під час зберігання масла за температури 6÷10 °С кількість бактерій різко збільшується, масло збагачується бактеріальними ферментами, що поступово знижує його гатунок.

Найрозповсюдженішою вадою вершкового масла є пліснявіння. Плісняві гриби розвиваються передовсім на поверхні масла у вигляді плям різної величини і кольору. Іноді масло пліснявіє всередині блоку, якщо є порожнини, які утворюються при нещільному набиванні масла. Пліснявіння частіше викликають *Oidium lactis*, види роду *Penicillium*, рідше гриби з родів *Aspergillus, Alternaria, Cladosporium*. Кладоспоріум (*Cladosporium*) частіше за інших розвивається усередині масла у вигляді чорних крапок за наявності навіть дуже малих порожнеч, оскільки цей гриб здатний рости при обмеженому вмісті кисню у середовищі. Плісняві гриби можуть розщеплювати молочний білок і

жир, що призводить до глибоких змін у маслі й проявляється у згіркненні, появі гнильного та інших неприємних запахів.

Маргарин використовують у багатьох галузях харчової промисловості. Він став незамінним у домашніх умовах. Маргарин легко емульгується, утворюючи тонкодисперсні системи, що поліпшує його засвоєння організмом, а за поживністю не поступається вершковому маслу й значно перевершує всі інші тваринні й рослинні жири. Розрізняють декілька видів маргарину: молочний, кулінарний і рідкий.

Молочні маргарини являють собою емульсії жиру з молоком, які відрізняються складом жирової суміші й добавками. Виготовляють ще маргарин кондитерський – для готування тістечок, тортів, печива.

Кулінарний маргарин являє собою суміш рослинних і тваринних жирів у різних співвідношеннях без додавання молока або води.

М'який або рідкий маргарин відрізняється від столових маргаринів складом і фасуванням. Рідкий маргарин випускають для харчових підприємств, кондитерських фабрик, хлібопекарських заводів. Поставляють його у контейнерах або спеціальній тарі.

Молочний маргарин має мікрофлору двох типів: заквашувальну, яку використовують для квашення молока і мікрофлору сторонню – незаквашувального походження. Заквашувальна мікрофлора представлена гомо- і гетероферментативними молочнокислими стрептококами (*Str. lactis, Str. cremoris, Str. lactis subs. diacetilactis*), з визначеною кислото- та ароматоутворюючою активністю. Продукти бродіння цих стрептококів (зокрема діацетил) в основному і визначають органолептичні властивості маргарину.

Стороння мікрофлора різноманітна, вона складається з мікроорганізмів сировини і мікроорганізмів, які потрапили під час технологічного процесу ззовні (з устаткування, повітря, рук і одягу працівників тощо). Розвиток сторонньої мікрофлори, яка може викликати вади смаку і запаху маргарину, можливий, в основному, лише у водно-молочній фазі маргарину.

При псуванні маргарину може відбуватися його згіркнення, підвищення кислотності, пліснявіння.

Для захисту від мікробного псування у продукт вводять (або обробляють пакувальний матеріал) бензойну і сорбінову кислоти та їх солі.

Майонез – це емульсійний порошок, що містить рафіновану й дезодоровану рослинну олію, яєчні жовтки або яєчний порошок, сухе молоко й деякі добавки: гірчицю, сіль, цукор, оцтову кислоту й питну соду.

Сировиною при виробництві маргарину та майонезу є рафінована дезодорована олія, саломаси, яєчні продукти, різні види сухого молока, вершки, какао-порошок, кисломолочна закваска, цукор, спеції та прянощі, гірчичний порошок, ізоляти, концентрат та гідролізати рослинних білків, казеїнати молочні тощо.

Рецептурні компоненти майонезу не тільки створюють приємний смак і аромат продукту, але мають спеціальне призначення. Наприклад, сухе молоко, яєчний і гірчичний порошки, емульгатори беруть участь у створенні структури майонезу. Крім того, за рахунок яєчних і молочних продуктів формується харчова цінність продукту. Оцет перешкоджає розвитку бактеріальної мікрофлори. Сода харчова створює певне значення pH середовища, сприятливе для набрякання білків молока. Сіль відіграє консервуючу роль. Різні смакові добавки дають змогу створити широкий асортимент продуктів.

Сировина, яку використовують, при надходженні повинна супроводжуватися документацією про якість, що містить відомості про мікробіологічні показники, які повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів на цей вид продукту.

При проведенні мікробіологічних досліджень маргарину та майонезу визначають: загальне мікробне число в 1 г виробу, характер мікрофлори, бактерії групи кишкової палички, кількість дріжджів та грибів, наявність патогенних мікроорганізмів, стафілококів.

Для маргаринів мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроби не завжди досліджують. У бутербродних маргаринах, які використовують для виготовлення кремів, проводять визначення кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів кількісним підрахунком колоній, що виростають в глибині та на поверхні поживного агару за температури 30 °С впродовж 72 годин. У маргарині та майонезі визначають відсутність бактерій групи кишкових паличок (колі-форми) у певній кількості продукту.

Сир – цінний за смаковими та поживними властивостями продукт переробки молока. Властивості сиру – смак, аромат, консистенція, малюнок – формуються в результаті складних біохімічних процесів, провідна роль в яких належить мікроорганізмам.

Суттєвий вплив на якість готового продукту має також сировина – молоко, і перш за все, його чистота, тобто ступінь обсіменіння небажаними для сироваріння мікроорганізмами.

Згортання молока (коагуляцію казеїну) проводять шляхом закваски його молочнокислими бактеріями і введенням сичужного ферменту.

При виготовленні кожного виду сиру застосовують певні технологічні прийоми і режими, які направлені, в основному, на регулювання мікробіологічних процесів, що протікають у сирній масі. Упродовж всіх технологічних етапів виробництва сиру в сирній масі відбувається накопичення молочнокислих бактерій, які стають основною мікрофлорою дозріваючого сиру. У невеликій кількості зустрічаються й інші мікроорганізми: бактерії гнильні, групи кишкової палички, маслянокислі, пропіоновокислі, а також дріжджі.

Дозрівання сирів протікає за активного розвитку мікробіологічних процесів. У перші дні дозрівання у сирі бурхливо розвиваються молочнокислі бактерії, число їх клітин в 1 г сиру досягає мільярдів. Бактерії зброджують молочний цукор з утворенням молочної кислоти, а деякі продукують ще й оцтову кислоту, вуглекислий газ, водень. Накопичення кислот пригнічує розвиток сторонньої мікрофлори.

При дозріванні твердих сирів типу Голландського (з низькою температурою другого нагрівання) провідна роль належить мезофільним молочнокислим стрептококам (*Str. lactis, Str. cremoris, Str. lactis subs. diacetilactis*). Незначне значення мають і мезофільні молочнокислі палички.

У мікрофлорі дозріваючих сирів типу Швейцарського (з високою температурою другого нагрівання) переважають термофільні молочнокислі палички, переважно сирна паличка (*L. helveticus*), яким належить провідна роль у молочнокислому процесі. У дозріванні сиру беруть участь і термофільні стрептококи, а також мезофільні молочні бактерії (стрептококи і палички). Після зброджування молочного цукру розвиток молочнокислих бактерій припиняється і вони починають поступово відмирати.

Під час дозрівання сирів відбуваються зміни не тільки молочного цукру, але й білків молока. У цих процесах молочнокислі бактерії також відіграють значну роль. Паличкоподібні молочнокислі бактерії володіють вищою протеолітичною активністю, ніж стрептококи.

Розвиваються у дозріваючих сирах і пропіоновокислі бактерії. Вони зброджують молочну кислоту (її кальцієву сіль) з утворенням пропіонової й оцтової кислот і вуглекислого газу. Пропіонова та частково оцтова кислоти, а також, деякі амінокислоти й продукти їх гідролізу додають сирам характерні гострий смак і запах. Накопичення в сирах вуглекислого газу і водню в результаті життєдіяльності молочнокислих і пропіоновокислих бактерій зумовлює утворення сирних дірок, які створюють малюнок сиру.

При дозріванні *твердих сирів*, особливо на початковій стадії процесу, можуть активно розвиватися бактерії групи кишкової палички, а в кінці дозрівання – маслянокислі. Зростання цих бактерій супроводжується рясним виділенням вуглекислого газу і водню, при цьому утворюється неправильний малюнок сирів і навіть відбувається спучення вічок.

Деякі молочнокислі стрептококи можуть викликати гіркий присмак сиру внаслідок активного гідролізу білків.

Значно знижує якість сиру й анаеробна спорова бактерія *Clostridium putrificum*, що володіє різко вираженою протеолітичною активністю. Сир при

цьому розм’якшується, консистенція його стає такою, що розтікається, з’являється гнильний запах і неприємний смак. Проте псування, особливо твердих сичужних сирів, частіше виявляється у пліснявінні. Розвиваються зазвичай гриби роду *Penicillium*, зустрічаються й інші (*Alternaria, Cladosporium*). Гриб *Oospora* викликає виразку кірки. Ця цвіль солестійка і росте при вмісті в середовищі до 14÷16 % кухонної солі.

Одним з джерел інфікування сирів цвіллю є камери для дозрівання та зберігання сирів. Повітря, стіни, стелажі, поверхня кондиціонерів завжди в тій чи іншій мірі обсіменені цвіллю. Поряд з дотриманням загальних санітарно-гігієнічних вимог до камер схову, хороший ефект для запобігання пліснявіння сирів дає озонування холодильних камер.

При виробленні *м'яких*, так званих, цвілевих сирів, окрім молочнокислих бактерій, велике значення має цвіль, якою спеціально заражають сири. Своєрідність смаку цих видів сирів зумовлена зміною не тільки молочного цукру і білкових речовин, але й молочного жиру, який розщеплюється цвіллю з утворенням летючих жирних кислот. У виробництві таких сирів використовують *Penicillium candidum і P. camemberti*. У дозріванні сиру “Рокфор” бере участь *P. roqueforti*. Крім цвілі, на поверхні сиру розвиваються дріжджі, що володіють протеолітичною активністю.

Плавлені сири виробляють, в основному, зі зрілих сирів. Мікрофлора їх за звичай представлена спороносними бактеріями (*Bacillus subtilis, B. simplex*), зустрічаються і молочнокислі (палички і стрептококи), що збереглися при плавленні сиру. Кількість бактерій у цих сирах порівняно невелика – тисячі в 1 г. При холодильному зберіганні (до 5°С) істотних змін мікрофлори не спостерігається протягом тривалого часу. За вищих температур чисельність бактерій збільшується поступово, залежно від температури.

Найбільш небезпечні, такі, що викликають спучення сирів – маслянокислі бактерії. Щоб уникнути цього виду псування в сири вводять антибіотик “Низин”.

Плавлені сири вважають задовільними при вмісті в них бактерій не більше 10 000 в 1 г і титрі бактерій групи кишкової палички не нижче за 0,1 г.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Укажіть можливі шляхи забруднення молока.
2. Опишіть фази розвитку мікроорганізмів у молоці.
3. Як змінюється мікрофлора молока під час його зберігання?
4. Які фактори визначають мікрофлору кисломолочних продуктів?
5. За якими мікробіологічними показниками оцінюють якість молока?
6. Поясніть термін „заквашувальна мікрофлора”.
7. Які сторонні мікроорганізми визначають у кисломолочних продуктах?
8. Назвіть традиційну заквашувальну мікрофлору для виробництва сметани.
9. Опишіть роль мікроорганізмів у дозріванні сирів.
10. Опишіть мікроорганізми, які складають мікрофлору масла.
11. Які види псування масла вершкового спричиняються мікроорганізмами?
12. Які мікробіологічні показники характеризують маргарин і майонез?
13. Які мікроорганізми беруть участь у виготовленні сирів? Яка їх роль?
14. Якими мікроорганізмами представлена мікрофлора твердих сичужних сирів?
15. Які мікроорганізми можуть спричинити вади сирів?

8.4. Мікробіологія свіжого та замороженого м’яса, напівфабрикатів та субпродуктів

М’ясо – один з найбільш цінних продуктів харчування людини. У ньому містяться основні компоненти, необхідні для розвитку організму: білки, жири, вуглеводи, мінеральні речовини, вітаміни.

Щодо розвитку багатьох мікроорганізмів, то м’ясо – хороший живильний субстрат, в якому вони знаходять всі необхідні для себе речовини – вуглець і азот, вітаміни, мінеральні солі. Вміст доступної води і pH м’яса також сприяють розвитку мікроорганізмів, у зв’язку з чим воно швидко псується.

Шкідливий вплив на м’ясо ферментів мікроорганізмів має суттєві наслідки. Тому перша вимога до технологічної обробки м’яса – забезпечення низького вмісту в ньому мікроорганізмів. Якщо мікроорганізми все-таки потрапили на поверхню або всередину м’яса, то

необхідно запобігти їх розмноженню і підвищенню їхньої ферментативної активності, а також ужити заходів до подальшого скорочення їхньої чисельності.

Серед мікроорганізмів, які зустрічаються у м'ясі, особливу роль відіграють бактерії. Велика частина їх має здатність швидко розкладати білок – найціннішу складову м'яса, тобто здійснювати процес гниття. М'ясо можна зберігати нетривалий час. Яловичину, баранину, телятину зберігають влітку 2 доби, узимку – 4 доби, свинину – відповідно 6 і 10 діб.

Мікробіологічна стійкість і харчова безпека м'яса ґрунтуються на комбінації декількох зберігаючих факторів, так званими бар'єрами, які не можуть перебороти мікроорганізми. Поняття бар'єрного ефекту уперше ввів Л. Ляйстнер у 1978 р. Бар'єрний ефект має першочергове значення для зберігання харчових продуктів із проміжною і високою вологістю, оскільки бар'єри контролюють процеси, що спричинюють мікробне псування і ведуть до харчових отруєнь. Бар'єрний ефект – це комплексна взаємодія температури, активності води, кислотності, окисно-відновного потенціалу, консервантів та ін., що має важливе значення для мікробіологічної стійкості та безпеки більшості продуктів.

М'ясо обсіменяється мікроорганізмами двома шляхами: ендогенним і екзогенним. М'язи здорових тварин, як правило, стерильні. М'язи хворих тварин, що перенесли перед забоєм голодування, сильну перевтому можуть містити мікроорганізми. Частина мікроорганізмів міститься в самій тварині, заноситься в мускулатуру через кровоносне русло – ендогенний шлях. Крім прижиттєвого інфікування, м'язи можуть обсіменятися мікробами після забою тварини (екзогенний шлях): при первинній обробці туш (особливо якщо ушкоджується кишечник), з інструментів, з рук і одягу працівників, а також при транспортуванні, зберіганні, розрубі в магазинах тощо. Тому навіть свіжовироблене м'ясо не є стерильним і в ньому, переважно на поверхні, міститься та чи інша кількість мікроорганізмів.

У м'ясі зустрічаються мікроорганізми майже всіх груп, зокрема часто присутні *Alcaligenes, Micrococcus, Streptococcus, Bacillus, Proteus, Clostridium,*

Pseudomonas, Thermobacterium, Flavobacterium. Деякі фахівці з мікробіології м'яса вважають бактерії цих груп мікроорганізмів природною мікрофлорою свіжого м'яса. Зустрічаються вони у м'ясі в різних кількостях і співвідношеннях, причому важливу роль відіграють такі фактори, як гігієна забою тварин, санітарний стан приміщення для забою, пора року, температура й відносна вологість повітря.

Якість і стійкість м'яса при зберіганні пов'язані із вмістом мікроорганізмів на його поверхні. Визначаючи кількість мікроорганізмів і їх видовий склад, судять про тривалу стійкість м'яса при зберіганні. Для цього пропонують брати мазки-відбитки з визначених ділянок поверхні туші тварини, де накопичується найбільша кількість мікроорганізмів – область хрестця, грудина і передні кінцівки. Мазки беруть у трьох місцях за шаблоном.

Під час заморожування м'яса відмирає значна кількість мікроорганізмів. Окрім низької температури на мікроорганізми згубно діє висока концентрація розчинених в продукті речовин і знижена вологість, вимерзання води, що є результатом заморожування, зміна білків, які містяться в клітинах і механічна дія льоду, який утворюється поза клітиною, а при швидкому заморожуванні – й усередині клітини.

Мікроорганізми, які вижили під час зберігання мороженого м'яса, при його розмороженні починають розмножуватися. Швидкість розмноження залежить від температури та тривалості розморожування. Для уникнення активного розвитку мікроорганізмів рекомендовано проводити розмороження м'яса за низьких плюсових (1÷8°С) температур.

Копчені і варені м'ясні продукти – це частини туш забійних тварин, певним чином оброблені, піддані засолові, термічно оброблені і готові для безпосереднього вживання в їжу (окіст, грудинка, корейка). Сьогодні нараховується 70÷80 видів таких продуктів. Ці вироби мають гарні смакові якості, харчову цінність, користуються великим попитом, але розраховані на обмежений термін зберігання. Залежно від гатунку виробу стійкість при зберіганні коливається від 3 до 29 діб. Стійкість їх залежить від засолу з використанням кухонної солі. Для одержання готової продукції використовують

спеціальні методи засолу, нітрити, цукор, інші посолочні матеріали, коптильний дим і термічну обробку.

Кухонна сіль (натрій хлорид) не має бактерицидної дії, але пригнічує розвиток більшості мікроорганізмів, створюючи високий осмотичний тиск у розсолі. При засолі під впливом високої концентрації натрій хлориду, зниженої температури і антагоністичних взаємовідносин мікроорганізмів різних видів різко змінюється кількісний і груповий склад мікрофлори м'яса. Найбільш істотні зміни зумовлені дією кухонної солі.

У м'ясі й розсолі можуть міститися мікроорганізми, які мають різну чутливість до натрій хлориду:

- негалофільні, які розмножуються тільки при 1÷2 % і повністю припиняють свій розвиток при 6÷10 % солі (грамнегативні гнильні бактерії);
- солетолерантні, які добре розмножуються при невеликих концентраціях солі в середовищі (1÷2%) – анаеробні клостридії, коки, деякі, молочнокислі й патогенні бактерії;
- галофіли, які розмножуються тільки при концентраціях солі від 12 % і більше та зовсім не зростають на безсольових субстратах (облігатні галофіли), або активно ростуть як при високих концентраціях, так і у присутності 1÷2 % солі (факультативні галофіли). Галофілами є багато цвілевих грибів, деякі дріжджі, мікрококи тощо.

Уміст мікроорганізмів у розсолах повинен становити $1 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^6$ у 1 $см^3$. Розсоли із вмістом мікроорганізмів більше $1 \cdot 10^8$ у 1 $см^3$ найчастіше вважають зіпсованими. Кількість мікроорганізмів у розсолах коливається в межах від $0{,}1 \cdot 10^6$ до $1 \cdot 10^8$ у 1 $см^3$. У розсолах зустрічаються бактерії таких родів:

- *Micrococcus* – дуже часто;
- *Vibrio, Alcaligenes, Escherichia, Streptococcus, Lactobacillus, Pseudomonas* – часто;
- *Spirillus, Microbacterium, Proteus, Achromobacter, Sarcina, Corynebacterium, Pedoicoccus* – іноді;
- *Clostridium* – рідко.

Корисні мікроорганізми на поверхні м’ясних продуктів, що містяться у розсолах, зумовлюють зміни, які надають продукту відповідну органолептичну якість: утворюється аромат, який надає продукту характерного запаху і смаку.

Для тривалого зберігання копчених і варених м’ясопродуктів варто застосовувати копчення, підсушування й обробку холодом. Коптильним речовинам диму властива бактерицидна і бактеріостатична дія, але селективно. Найбільш стійкі до дії коптильних речовин гриби, які здатні розвиватися на поверхні навіть добре прокопчених продуктів. Копчення саме по собі не охороняє м’ясні продукти від мікробного псування на тривалий час, але разом з засолом і зневоднюванням є ефективним методом консервування м’ясопродуктів.

Мікробіологія ковбасних виробів. Ковбасні вироби зазвичай споживають без додаткової теплової обробки. Тому до цих продуктів і технологічного процесу їх виготовлення пред’являють підвищені санітарні вимоги. Як правило, при виготовленні ковбас вміст мікробів у м’ясі в порівнянні з їх первинною кількістю збільшується. Внаслідок екзогенного обсіменіння вже при первинній обробці м’яса майже у 10 разів підвищується чисельність мікрофлори.

До групи ковбасних виробів, кров’яних і ліверних ковбас належать сирокопчені, напівкопчені, варено-копчені ковбаси, сардельки, сосиски; ковбаси варені, кров’яні, ліверні; хлібці м’ясні, сальтисони, паштети з печінки.

Сирокопчена ковбаса являє собою специфічний продукт із сирого м’яса, термін придатності якого залежить від гатунку і методу виготовлення і коливається від 6 до 8 місяців залежно від температури зберігання. У виготовленні сирокопченої ковбаси бере участь значна кількість мікроорганізмів, які надають їй специфічної якості. Цю функцію мікроорганізми виконують, утворюючи своєрідну корисну і бажану мікрофлору сирокопченої ковбаси. Такі ковбаси називають продуктами *мікробного дозрівання*.

Першою передумовою перебігу всіх процесів одержання сирокопченої ковбаси є низьке вихідне обсіменіння фаршу, у якому кількість мікроорганізмів

у 1 г не має перевищувати $1 \cdot 10^7$. Бажані мікробно-ферментативні процеси дозрівання сирокопченої ковбаси відрізняються підвищенням кількості кислотоутворюючих бактерій до $1 \cdot 10^8$ у 1 г і навіть $1 \cdot 10^9$. Основну частину кислотоутворюючих бактерій становлять лактобацили (близько 99%), а також важливу роль відіграють мікрококи.

У готовій дозрілій сирокопченій ковбасі присутні тільки мікрококи, лактобацили і бацили, в одиничних випадках зустрічаються дріжджі. Грампозитивні бактерії впливають на підвищення стійкості сирокопченої ковбаси, вони створюють її специфічні якості. Бацили в сирокопченій ковбасі повинні бути у незначній кількості, адже вони призводять до відхилень органолептичних властивостей ковбаси, що зменшує терміни зберігання.

Варено-копчена ковбаса – специфічний м'ясний продукт, розрахований на обмежений термін зберігання. Стійкість при зберіганні варено-копчених ковбас – не більше 15 діб за температури 12÷15°С і вологості 75÷78%; тільки окремі гатунки можуть зберігатися не більше 4 місяців за температури 7÷9°С.

Для приготування варено-копчених ковбас беруть м'ясо, у якому кількість мікроорганізмів не перевищує $1 \cdot 10^7$ у 1 г. Кількість бактерій зменшується під час варіння м'яса за температури 75÷80°С, при цьому істотно змінюється видовий склад мікрофлори. Гинуть усі нестійкі до високих температур мікроорганізми, зокрема дріжджі і грампозитивні бактерії. Не гинуть бацили і клостридії, спори яких витримують термічну обробку. Температура первинного копчення 75÷80°С, що впливає на мікроорганізми на поверхні батона ковбаси й у шарах, розташованих безпосередньо під оболонкою.

Варено-копчені ковбаси необхідно зберігати за температури приблизно 0÷4°С і відносній вологості повітря 75÷80%.

Варена ковбаса – мясопродукт, призначений переважно для короткострокового зберігання – від 24 год до 6 діб. Використання бар'єрних оболонок доволяє подовжити термін зберігання продуктів до 12 тижнів.

Стійкість при зберіганні досягається термічною обробкою ковбасного фаршу, температура всередині батона повинна бути не нижче 70±2°С. Після теплової обробки залишаються спори бацил і клостридії.

Сосиски, сардельки, ліверні і кров'яні ковбаси, а також *зельці* – продукти особливо швидкопсувні. Ліверні ковбаси і сальтисони в порівнянні з іншими ковбасними виробами містять значно більше мікроорганізмів. Вони мають відносно високу вологість і, крім того, їх готують з сировини, яка зазвичай сильно обсіменена мікроорганізмами. Бацили і клостридії, що залишилися під час приготування, можуть зумовити псування, про що свідчить поява вираженого запаху сірководню. Не зважаючи на термічну обробку, терміни зберігання та реалізації цієї продукції в торговій мережі і на підприємствах громадського харчування строго обмежені.

Бактеріологічне дослідження ковбас. Бактеріологічне дослідження ковбас передбачає визначення загальної кількості мікробів і присутності бактерій групи кишкової палички, протея, сальмонел, кокової групи та анаеробів.

Бактеріологічне дослідження готових ковбасних виробів проводять згідно з ГОСТ 9958-81.

Для визначення загальної кількості мікробів у готовому продукті, виявлення аеробів і анаеробів, з нього готують вихідний матеріал для висівів на живильні середовища.

Проби вихідного матеріалу відбирають якомога з більшої площі продукту, враховуючи, що мікроби розвиваються у ковбасних виробах нерівномірно.

З цією метою, після зовнішньої обробки спиртом і фламбування, батон разової проби розрізають вздовж на дві половини і роблять зіскоб фаршу з-під оболонки і центральної частини масою близько 20 г.

Наважку ковбаси, дотримуючись правил асептики і антисептики, гомогенізують у ступці, додаючи 80 $см^3$ стерильного фізіологічного розчину. Отриманий вихідний матеріал служить для подальших мікробіологічних досліджень.

З виробів без оболонки і копченостей проби для одержання висівного матеріалу, після обробки поверхні як вказано вище, беруть з глибини продукту по 2÷3 шматочки з різних місць, потім наважку масою 20 г обробляють аналогічно.

Для визначення загальної кількості мікробів у продукті відбирають мікропіпеткою 0,1 $см^3$ вихідного матеріалу з верхнього шару після 15-хвилинного відстоювання, виливають на середину стерильної чашки Петрі і заливають 12÷15 $см^3$ охолодженого до 45÷50°С м'ясопептонного агару, який круговими рухами рівномірно розподіляють по всій поверхні.

Чашку догори дном поміщають у термостат за температури 37 °С.

Через 48 год, користуючись лупою, підраховують загальну кількість колоній на поверхні середовища та в глибині агару.

Одержану кількість множать на ступінь розведення досліджуваного матеріалу (10х100) і ділять на масу наважки.

Визначення загальної кількості мікробів у ковбасних виробах є додатковим методом встановлення їх свіжості.

Наявність понад 1,5 млн мікробів у 1 г продукту свідчить про його псування.

Результати аналізу заносять у таблицю.

Порівнюючи отримані значення з нормативними показниками, роблять висновок про якість продукції.

Таблиця 8.3

Найменування продукту	КМАФАнМ (КУО/г)	
	норматив	результат
Варені ковбаси I та II гатунку, сосиски, сардельки, хлібці	$1 \cdot 10^3$	
Ковбаси смажені	$5 \cdot 10^2$	
Ковбаси кров'яні	$2 \cdot 10^3$	
Ковбаса ліверна вищого і першого гатунку	$2 \cdot 10^3$	
Варено-копчені ковбаси вищого та першого гатунку	$1 \cdot 10^3$	
Варено-копчені ковбаси II гатунку	$2{,}5 \cdot 10^3$	
Варено-копчені ковбаси III гатунку	$5 \cdot 10^3$	

Питання для контролю і самоперевірки

1. Які основні групи мікроогранізмів зустрічаються на м’ясі?
2. Як визначають обсіменіння м’яса?
3. Поясніть принцип бактеріоскопічного способу визначення свіжості м’яса.
4. Що таке максимальний вміст бактерій у м’ясному фарші?
5. Що таке кислотоутворюючі бактерії? Яка їх роль у дозріванні сирокопченої ковбаси?
6. Яка роль бацил у створенні органолептичних властивостей сирокопчених ковбас?
7. Які мікроорганізми не гинуть під час виробництва варено-копченої ковбаси?
8. Які особливості мікрофлори ліверних і кров’яних ковбас?

8.5. Мікробіологія яєць і яйцепродуктів

Яйце сільськогосподарської птиці містить усі поживні і біологічно активні речовини, необхідні для росту та розвитку організму людини і тварин. Зокрема високоякісний продукт харчування людини – курячі яйця, у яких є білок, жири, вуглеводи, незамінні амінокислоти, мікроелементи, майже усі відомі вітаміни, біологічно активні речовини.

Внутрішній вміст яєць – хороший субстрат для розвитку мікроорганізмів. Інфікування яєць мікроорганізмами може відбуватися ендогенним і екзогенним шляхами. При ендогенному зараженні мікроорганізми проникають у яйце під час його формування в яєчнику або яйцепроводі хворої птиці. Це можуть бути віруси, бактерії, гриби, збудники туберкульозу, сальмонельозу. Особливо небезпечні яйця водоплавної птиці, інфіковані сальмонелами, тому продавати качині і гусячі яйця в роздрібній торгівлі заборонено.

Екзогенне зараження яєць пов’язане з зараженням шкаралупи калом, ґрунтом, підстилкою, пером тощо. Чистота шкаралупи – важливий показник якості яєць. Забруднена шкаралупа не тільки псує їх товарний вигляд, але і різко скорочує тривалість зберігання. На 1 см^2 поверхні свіжих чистих яєць містяться десятки і сотні, рідко тисячі бактерій, а на забруднених – десятки тисяч і навіть мільйони мікробних клітин.

У яйця через шкаралупу з зовнішнього середовища можуть проникати як сапрофітні, так і патогенні мікроорганізми, у більшості випадків, під час збору, зберігання та транспортування. Обсіменіння яєць збільшується при антисанітарному стані гнізд, тари для зберігання, транспортуванні при підвищеній вологості повітря, тому що волога шкаралупа найбільш проникна для мікроорганізмів.

Вміст яйця, отриманого від здорового птаха, стерильний. Незважаючи на наявність пор у шкаралупі, стерильність яєць може зберігатися протягом декількох місяців, що зумовлено головним чином бактерицидними властивостями шкаралупи і яєчного білка. Шкаралупа виконує захисну функцію, охороняючи яйце від проникнення мікроорганізмів. На її поверхні під час знесення яйця відкладається шар слизу, що, висихаючи, утворює надскорлупну плівку – кутикулу. До складу плівки входить лізоцим, що діє бактерицидно на багато мікроорганізмів.

Найсильнішою антибіотичною дією володіє білок курячих яєць. Антибіотичні властивості білка зумовлені наявністю бактерицидних речовин – лізоциму, овідину, кональбуміну, овомукодину, овомуцину і вуглекислоти, що зупиняють ріст мікроорганізмів. Розмноження мікроорганізмів затримується також через велике значення pH і стійкість протеїнів білка до впливу мікробів. Бактерицидними властивостями володіє і шкаралупа.

Яйця належать до швидкопсуючих продуктів, зберігати їх довгий час необхідно за умов, які забезпечують уповільнення фізико-хімічних процесів, що проходять у них, і попереджують проникнення мікроорганізмів. При тривалому зберіганні якість яєць може змінюватися: у них відбуваються окисні, автолітичні й мікробіологічні процеси. Під дією ферментів, які виділяються мікроорганізмами, складові частини яєць розкладаються з утворенням специфічних продуктів розпаду. Зміни, які спричинені бактеріями, різноманітні і залежать від їх властивостей та біохімічної активності.

При потраплянні всередину яйця бактерій роду *Pseudomonas* білок стає сірим, мутним, розрідженим, надалі білок і жовток набувають зеленуватого відтінку,

що переходить у темно-зелений колір. Зелений колір зумовлений також розвитком стафілококa.

Аеробні гнильні бактерії надають жовткові світло-жовтого кольору. Жовткова оболонка руйнується, відбувається перемішування білка з жовтком, утворюється однорідна мутна рідка маса.

B.prodigiosum, M. roseus деякі дріжджі і гриби утворюють червоний пігмент і забарвлюють вміст яйця в рожевий колір. *Proteus vulgaris* і *E.coli* та інші гнильні бактерії забарвлюють вміст яйця в чорний колір. У яйці накопичується велика кількість газів.

У результаті гниття вмісту яйця, яке відбувається під дією анаеробних клостридій, триптофан розпадається з утворенням сірководню, скатолу, індолу, що мають дуже неприємний запах.

Вуглеводи яйця зброджуються бактеріями з утворенням молочної, оцтової й інших органічних кислот, які підвищують кислотність яєчної маси.

У їжу використовують свіжі, які зберігалися в холодильнику, курячі яйця.

Яєчні продукти виготовляють із курячих яєць. Їх використовують для харчових цілей і класифікують за такими видами:

- рідкі – охолоджений або заморожений меланж, жовток, білок;
- сухі – меланж (яєчний порошок), жовток і білок.

Яєчний меланж – швидкопсувний продукт, зберігання якого допускається тільки в замороженому вигляді (-5÷-6°С) і не більше 10 місяців.

У готовому меланжі зазвичай виявляють велику кількість мікроорганізмів. Склад мікрофлори вкрай різноманітний і певною мірою залежить від чистоти яєць та рук робітників, а також від чистоти повітря в цехах переробки яєць. Основне джерело бактеріальної контамінації меланжу – шкаралупа. Тому при приготуванні меланжу яйця необхідно дезінфікувати. У розмороженому вигляді меланж надзвичайно швидко псується через інтенсивне розмноження в ньому мікроорганізмів.

Під час заморожування і зберігання меланжу всі групи мікроорганізмів відмирають: за 6 місяців зберігання кількість сальмонел може зменшитися у 1000 разів, бактерій групи кишкових паличок – у 100 разів, загальне

бактеріальне обсіменіння – у 40 разів. Хоча повної загибелі мікроорганізмів у меланжі не спостерігається.

Яєчний порошок одержують висушуванням яєчної маси шляхом її розпилення в спеціальних камерах за температури 60°С. Отриманий яєчний порошок добре вбирає воду і відновлює первинні властивості яєць. Якісний порошок має світло-жовтий колір, смак і запах, властиві висушеному яйцю. Вміст вологи у яєчному порошку повинен бути не більше 9%. Сушіння забезпечує загибель тільки частини вегетативних клітин мікроорганізмів. У яєчному порошку виявляють стафілококи, стрептококи, кишкову паличку, іноді сальмонели і спори бацил.

При зберіганні яєчного порошку відбувається поступове відмирання мікрофлори. Термін зберігання порошку за температури не вище 20°С і відносній вологості повітря не більше 75 % – до 6 місяців; за температури 2°С і нижче та відносній вологості 60÷70 % – до 2 років.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Укажіть чим зумовлена мікробіологічна стійкість білка курячого яйця?
2. Поясніть, що таке ендогенне та екзогенне контамінування курячого яйця.
3. Які антибіотики є в білку яйця?
4. Укажіть способи зберігання курячих яєць.
5. Назвіть види псування курячих яєць.
6. Що таке меланж? Укажіть склад мікрофлори меланжу.
7. Опишіть способи зберігання меланжу.
8. Опишіть склад мікрофлори яєчного порошку.
9. Укажіть способи зберігання яєчного порошку.

8.6. Мікробіологія рибної продукції

М’ясо риби за хімічним складом близьке до м’яса теплокровних тварин. У ньому також міститься значна кількість білків і жирів. Проте риба відрізняється від м’яса забійних тварин меншою стійкістю під час зберігання, що зумовлене різними причинами. Деякі види риб зберігають необробленими, в цілому

вигляді, а в кишечнику і зябрах завжди знаходиться багато мікроорганізмів. Слиз (слен), який покриває поверхню риби, не тільки містить безліч мікроорганізмів, але є сприятливим середовищем для їх розвитку. Основні компоненти слизу – білок, глюкопротеїн (муцин), є в слизі і вільні амінокислоти. М'ясо риби має більш рихлу консистенцію ніж м'ясо теплокровних тварин, оскільки в м'язах риб менше сполучної тканини, що сприяє розповсюдженню мікроорганізмів у тілі риби. Кількість і склад поверхневої мікрофлори щойновиловленої риби може значно коливатися залежно від виду риби, характеру водойм, сезону року, району та техніки лову. На 1 см^2 поверхні риби виявляють зазвичай $10^2 \div 10^4$ бактерій, а іноді й більше. В основному це водні мікроорганізми. Серед них переважають аеробні, безспорові, грамнегативні паличкоподібні бактерії родів *Pseudomonas, Alcaligenes, Acinetobacter, Flavobacterium*. Зустрічаються мікрококи, рідше – спороутворюючі бактерії, дріжджі й актиноміцети. Більшість з названих бактерій – гнильні, кислотоутворюючі форми.

На рибі, виловленій із забруднених водойм, можуть знаходитися мікроорганізми групи кишкової палички, а в окремих випадках – сальмонели й ентерококи. Найбільш обсіменені мікроорганізмами зябра та кишечник. У 1 г вмісту кишечника риби налічується $10^5 \div 10^8$ мікроорганізмів. Серед них найбільше спорооутворюючих анаеробів – *Clostridium sporogenes, Cl. putrificum*. Виявляють і збудників харчових отруєнь – *Cl. perfringens, Bacillus cereus, Staphylococcus aureus* і палички ботулізму (зокрема в кишечнику осетрових риб).

Свіжа охолоджена риба – продукт короткочасного зберігання (декілька днів) навіть за температури близько 0˚С. При цьому дрібна риба псується швидше від великої. Псування наступає тим швидше, чим вища температура зберігання і чим більше на рибі містилося бактерій. На охолодженій рибі психротрофні бактерії, в першу чергу, починають розмножуватися на поверхні й зябрах, потім звідти проникають у тканини тіла, де розмножуються менш інтенсивно.

Розвиток мікроорганізмів супроводжується значними змінами хімічного складу м’яса риби. Розвиваються гнильні процеси, характер яких істотно не відрізняється від описаних для м’яса забійних тварин.

Головні збудники псування охолодженої риби – бактерії роду *Pseudomonas*. Викликаючи гнильні процеси, вони утворюють значні кількості летючих сполук, зокрема триметиламін – речовину, що зумовлює появу специфічного неприємного запаху, що характерний для риби, яка псується. Псевдомонади не тільки швидше за інших бактерій розмножуються але й володіють більшою біохімічною активністю по відношенню до білкових речовин і жиру. До моменту псування охолодженої риби псевдомонади складають основну масу (до 80÷90 %) її мікрофлори. Найбільш активними з них є *Pseudomonas putrifaciens, P. fragi, P. fluorescens* – продуценти сірководню, амоніаку та триметиламіну.

У псуванні охолодженої риби, хоча в значно меншій мірі, беруть також участь бактерії родів *Alcaligenes, Flavobacterium, Micrococcus*.

Для тривалішого зберігання рибу заморожують або піддають іншим способам консервації: засолу, копченню, маринуванню, в’яленню.

Заморожена риба може тривалий час (місяцями) зберігатися без мікробіального псування за температури не вище -12÷-15°С. Під час заморожування багато мікроорганізмів, що містяться на рибі, гинуть, але деякі виживають. На замороженій рибі виявляють переважно різних представників мікрококів; паличкоподібні спороутворюючі і не створюючі бактерії, спори цвілі зустрічаються в невеликих кількостях.

Посол – один з найдавніших способів зберігання риби. Консервуюча дія посолу зумовлена високою осмотичною активністю розчину солі й зниженням водної активності (a_w) середовища. Ступінь обсіменіння солоної риби мікробами коливається в широких межах (від сотень до сотень тисяч в 1 г) залежно від первинного їх вмісту на рибі, концентрації солі, температури та терміну зберігання. При будь-якому способі посолу риби відбуваються зміни кількісного і якісного складу її мікрофлори. Типові для свіжої риби психротрофні види роду *Pseudomonas* поступово відмирають або зберігаються в

невеликій кількості в плазмолізованому стані. Переважаючими в солоній рибі і в тузлуках – галофільні й солестійкі мікрококи; у меншій кількості – спороносні палички; зустрічаються молочнокислі бактерії, дріжджі, спори цвілі, коринебактерії.

Слабосолена рибна продукція з дрібної риби (кільки, салаки, хамси і ін.), яку випускають у герметично запакованій тарі – *пресерви* – крім невеликої кількості солі містить цукор і спеції. Пресерви не піддають тепловій обробці; для попередження псування в них вводять антисептик – натрій бензойнокислий (0,1%). Мікрофлора пресервів у перші дні їх виготовлення різноманітна; до складу входять мікроорганізми риби, солі та спеції. Останні нерідко в значній мірі ($10^4 \div 10^6$/г) обсіменені спороутворюючими аеробними й анаеробними бактеріями та мікрококами, серед яких є солестійкі й холодостійкі гнильні форми. Під час дозрівання пресервів склад їх мікрофлори змінюється. Домінуючими представниками стають солестійкі мікрококи і молочнокислі бактерії.

У процесах дозрівання риби, крім тканинних ферментів, чимала роль належить гетероферментативним молочнокислим стрептококам. Будучи стійкими до солі та натрій бензойнокислого, вони розмножуються, зброджують цукор з утворенням кислот (молочної, оцтової) і ароматичних речовин. Зниження pH активізує деякі тканинні ферменти риби, які беруть участь в її дозріванні.

Наявність кислот, солі й антисептика, а також низька температура перешкоджають розвитку гнильних спорових бактерій, що знаходяться в чималих кількостях у пресервах. Проте деякі з них, особливо при порушенні технологічного режиму виготовлення і зберігання пресервів, можуть розвиватися і зумовлювати псування продукту. У пресервах нерідко виявляють *Clostridium perfringens,* активний розвиток якої може призвести до зривання банки.

Висушування риби і в'ялення – давні способи її зберігання як харчового продукту. При видаленні з риби води до певної межі створюються несприятливі

умови для розвитку мікробів. Консервуючу дію у в'яленій і солено-сушеній рибі відіграє також кухонна сіль.

Деякі мікроорганізми певний час зберігаються на в'яленій рибній продукції в анабіотичному стані. Мікрофлора складається переважно з мікрококів, але також зустрічаються спороутворюючі бактерії, молочнокислі бактерії, спори цвілі.

Ще один популярний спосіб зберігання риби – *коптіння*. Окрім дії антисептиків, що знаходяться у димі та коптильній рідині, при гарячому способі копчення на мікрофлору риби згубно діє висока температура, а при холодному – наявність солі і підсушування риби.

При копченні в товщі риби зберігається та або інша кількість мікроорганізмів. Дуже чутливі до бактерицидних речовин диму бактерії роду *Pseudomonas*, а найбільш стійкі – спори бактерій і цвілі, а також багато мікрококів. У першу чергу, на копченій рибі розвивається цвіль (*Penicillium, Aspergillus, Cladosporium*), особливо швидко при підвищеній відносній вологості повітря приміщень.

Іноді псування викликають дріжджі (*Cryptococcus, Debaryomyces, Rhodotorula*).

Допустимий ступінь обсіменіння бактеріями свіжовиготовленої риби гарячого копчення $5 \cdot 10^2$ в 1 г, холодного копчення – $5 \cdot 10^3$ в 1 г. Бактерії групи кишкової палички повинні бути відсутніми в 1 г готової продукції, а сальмонели – в 25 г.

Якість і стійкість під час зберігання продукції рибопереробних підприємств відчутно залежить від санітарно-гігієнічного стану виробництва. Періодично оцінюють його шляхом проведення мікробіологічного контролю інвентаря, устаткування, повітря виробничих приміщень, тари, рук і одежі робочих, дотичних з готовим продуктом.

Критеріями служать загальне бактерійне обсіменіння і вміст бактерій групи кишкової палички.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Укажіть мікроорганізми, які зустрічаються на поверхні щойновиловленої риби.
2. Наведіть приклади мікроорганізмів, які можуть зустрічатися на поверхні риби, виловленої із забруднених водойм.
3. Укажіть мікроорганізми, що можуть викликати псування риби.
4. Назвіть найбільш вдалий спосіб зберігання рибної продукції.
5. Поясніть, які мікроорганізми складають мікрофлору пресервів.
6. Укажіть, які мікроорганізми можуть викликати псування копченої риби.
7. Укажіть шляхи забруднення готової продукції на рибопереробних підприємствах.

8.7. Мікробіологія консервів

Консервами називають харчові продукти, приготовлені з рослинної або тваринної сировини, герметично закатані в тару, піддані тепловій обробці для забезпечення доброякісності під час зберігання.

Технологічний процес виробництва м’ясних і м’ясо-рослинних консервів складається з низки операцій: підготовка сировини до закладки в банки, закладка сировини й допоміжних матеріалів у банки, порціонування, видалення повітря з банок, закатування банок, перевірка герметичності, стерилізація, охолодження, зберігання.

Продукти, підготовлені до стерилізації, завжди містять мікроорганізми, які потрапляють в них з різних джерел. Решткова мікрофлора готових консервів під час зберігання може негативно впливати на якість продуктів і викликати їх псування. Обсіменіння консервованих продуктів мікроорганізмами відбувається за рахунок мікрофлори сировини, використовуваної для консервації, а також з різних джерел під час її підготовки для закладки в банки, при закладці в банки і порціонуванні.

Порушення технологічних режимів під час виробництва й пакування консервів можуть призвести, через торговельні організації продуктів, до поширення серед споживачів небезпечної для здоров’я продукції. Тому при

виробництві консервів потрібно суворо дотримувати санітарно-технічні вимоги, контролювати температурні параметри технологічних процесів.

У деяких банках після стерилізації зберігається залишкова мікрофлора у вигляді спор аеробних і анаеробних бактерій, термофільні бактерії, різні дріжджі. Мікроорганізми, розвиваючись у консервах, утворюють газуваті продукти обміну, що зумовлює здуття банки – біологічний бомбаж. Інші види мікроорганізмів зумовлюють псування консервів без здуття – плоскокисле псування. Збудниками цього псування є кислотоутворюючі термофільні аеробні бактерії (які переважно утворюють молочну й оцтову кислоти) *Bacillus aerothermophyllus* і *B. Stearothermophyllus.* Таке псування може бути у всіх видах консервів, але частіше – в овочевих і м'ясо-рослинних.

Бактеріологічний аналіз консервів полягає у дослідженні аеробної й анаеробної мікрофлори, термофілів, збудників ботулізму і їхніх токсинів (токсигенні збудники аналізують у спеціальних лабораторіях).

Часто до складу решткової мікрофлори, зокрема консервів, багатих білковими речовинами (у тому числі м'ясних і м'ясо-рослинних), входять мезофільні облігатні клостридії: *Bac. sporogenes, Bac. putrificus, Cl. perfringens,* маслянокислі бактерії. Спори цих мікроорганізмів можуть зберігати життєздатність навіть після тривалого нагрівання продукту за температури 115÷120 °С. Рідше в консервах виявляють токсигенний облігатний анаероб – *Cl. botulinum*. Неспороутворюючі мікроорганізми внаслідок своєї невисокої термостійкості зазвичай повністю гинуть при стерилізації.

Промислово-стерильними вважають консерви, які містять лише життєздатні клітини негазотвірних непатогенних і нетоксигенних бацил аеробів типу сінної палички. У промислово-стерильних консервах не повинно міститися патогенних і токсигенних мікроорганізмів, а також збудників псування консервів: термофільних бацил і клостридій, газотвірних мезофільних бацил і клостридій. Допустима кількість клітин мікроорганізмів у 1 г консервованого продукту, яка не порушує його мікробіологічну стабільність під час зберігання і не представляє небезпеки для здоров'я людини, складає $l0^{-1}÷10^{-3}$.

Визначення герметичності банок. Банки консервів, призначені для аналізу, оглядають і відзначають видимі неозброєним оком порушення герметичності та дефекти. Відібрані банки промивають теплою водою, швидко протирають щіткою, звільняють від етикеток, насухо витирають і термостатують. Термостатування здійснюють для виявлення мезофілів. Банки витримують 5 діб за температури +37°С у термостаті. Для виявлення термофілів банки витримують перед посівом дві доби за температури +55°С.

Перед термостатуванням перевіряють герметичність банок, для цього чисті банки поміщають у воду, нагрівають до кипіння. Кількість води потрібно взяти у чотири рази більше за вагу банок, щоб після занурення температура її була не нижче 85÷90°С і шар над продукцією становив 25÷30 мм. Установлюють банки у вертикальному положенні на дно, потім на кришки і прогрівають у гарячій воді 5÷7 хв. Поява пухирців повітря в якому-небудь місці вказує на негерметичність. Такі банки аналізу не підлягають. Для мікробіологічного аналізу банки відкривають у боксі. Повітря в ньому дезінфікують бактерицидними лампами за 2÷3 год до посіву. Під час посіву лампи вимикають.

Перед відкриттям банки струшують та ретельно протирають спиртом. Верхню кришку обпалюють у полум'ї пальника. На обпалену кришку кладуть змочену спиртом стерильну вату. Проби вмісту банки беруть стерильними скляними трубочками з внутрішнім діаметром близько 0,8 см.

Питання для контролю і самоперевірки

1. Що таке залишкова мікрофлора консервів?
2. Що таке газоутворюючі бактерії? Чим вони небезпечні в консервах?
3. Поясніть термін „біологічний бомбаж".
4. Навіщо потрібно проводити термостатування банок консервів?
5. Які групи мікроорганізмів визначають у консервах?
6. Як перевіряють герметичність банок?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бергілевич О.М. Мікробіологія молока і молочних продуктів з основами ветеринарно-санітарної експертизи. Навчальний посібник / О.М.Бергілевич, В.В.Касянчук – Університетська книга, Суми, 2010 р. – 350 с.

2. Березов Т.Т. Биологическая химия / Т. Березов, Ф. Коровкин. – М.: Медицина, 2002. – 703 с.

3. Боєчко Ф.Ф. Біологічна хімія / Боєчко Ф.Ф. – К.: Вища шк., 1998. – 407 с.

4. Боєчко Ф.Ф. Основні біохімічні поняття, визначення і терміни / Ф. Боєчко, Л. Боєчко. – К.: Вища шк., 1993. – 528 с.

5. Борисов Л.Б. Медицинская микробиология, вирусология, иммунология / Борисов Л.Б. – М.: Наука, 2002. – 730 с.

6. Гончаренко М.С. Основы валеологического питання / Гончаренко М.С. –Х.: ООО «Издательство Бурун Книга», 2006. – 368 с.

7. Гонський Я.І. Біохімія людини / Я.І.Гонський, Т.П.Максимчук, М.І.Калинський. – Т.: Укрмедкнига, 2002. – 744 с.

8. Гринстейн Б. Наглядная биохимия; [пер. с англ.] / Б. Гринстейн, А. Гринстейн. - М.: ГЗОТАР-МЕД, 2000. –119 с.

9. Губський Ю.І. Біохімія / Губський Ю.І. – К.–Т.: Укрмедкнига, 2002. – 508 с.

10. Димань Т.М. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів / Т.М.Димань, Т.Г.Мазур. – Академія, 2011. – 520 с.

11. Забезпечення та хімічний контроль якості харчових продуктів: навч. посібник / Р.П. Влодарчик, І.М. Кобаса, М.М. Воробець та ін. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2015. –336 с.

12. Коваль Т.В. Біохіія тварин. Навчальний посібник / Т.В.Коваль, О.В.Овчарук. – Кам'янець-Подільський, Видавець ПП Зволейко Д.Г., 2016. – 440 с.

13. Кононський О.І. Біохімія тварин / Кононський О.І. – К.: Вища шк., 2006. – 454 с.

14. Копильчук Г.П. Біохімія: Навчальний посібник / Г.П.Копильчук, О.М.Волощук, М.М.Марченко. – Чернівці: Рута, 2004. – 224 с.

15. Корзикун В.Н. Радиация и питание / В.Н.Корзикун, И.П.Лось, О.П.Честов. – К.: Красный крест, 1994. – 65 с.

16. Кучеренко М.Є. Сучасні методи біохімічних досліджень: Учбовий посібник / М.Є.Кучеренко, Ю.Д.Бабенюк, В.М.Войціцький. – К: Фітосоціоцентр, 2001. – 424 с.

17. Кучеренко М.Є. Біохімія / М.Є.Кучеренко, Ю.Д.Бабенко, О.М.Васильєв. – К.: Либідь, 1995. – 432 с.

18. Мак–Мюррей У. Обмен веществ у человека. Основы учення о взаимосвязи биохимии с физиологией и патологией / У. Мак-Мюррей. – М.: Мир, – 1980. – 366 с.

19. Методи контролю якості харчової продукції: навч. посібник. Ч.1. Черевко О.І., Крайнюк Л.М., Касілова Л.О. – Харків: ХДУХТ, 2005. – 230 с.

20. Методи контролю якості харчової продукції: навч. посібник. Ч.2. Черевко О.І., Крайнюк Л.М., Касілова Л.О. – Харків: ХДУХТ, 2008. – 354с.

21. Павлов И.П. Физиология. Лекции по физиологии пищеварения / Павлов И.П. – М.: Познавательная книга плюс, 2002. – 288 с.

22. Плахтій П.Д. Продукти бджільництва в оздоровленні людини / Плахтій П.Д. – Кам'янець–Подільський «Абетка», 2006. –212 с.

23. Плахтій П.Д. Фізіологія людини. Обмін речовин і енергозабезпечення м'язової діяльності / Плахтій П.Д. – Київ: друк. ВД «Професіонал», 2006. – 464 с.

24. Плахтій П.Д. Обмін речовин та енергії. Навчальний посібник для студентів природничих спеціальностей / П.Д.Плахтій, Т.В.Коваль, М.С.Гончаренко. – Кам'янець-Подільський, Рута, 2009. – 336 с.

25. Приліпко Т.М. Розробка технології та обладнання для термічної обробки м’ясних паштетів. / Т.М.Приліпко, Т.В.Коваль // Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 109. Ч.2. – С. 116-122.

26. Приліпко Т.М. Моделювання процесу теплопередачі та масообміну обробки м’ясних паштетів за нагріву в тарі / Т.М.Приліпко, Т.В.Коваль // Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / ДВНЗ

«Херсонський державний аграрний університет». Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2020. Вип. 113 С. 214-219. DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.29.

27. Рыбальченко В.К. Физиология и биохимия пищеварения животных и человека. / В.К.Рибальченко, Т.В.Береговая, М.Ю.Клевец, Е.А. Кондратюк и др. – К.: Фитосоциоцентр, 2002. – 366 с.

28. Строяновський В.С. Харчові, оздоровчі та лікувальні властивості продуктів бджільництва. Навчально-методичний посібник / В.С.Строяновський, Т.В.Коваль, Д.П.Плахтій. – м.Кам'янець-Подільський: ТОВ «Друкарня «Рута»», 2018. – 216 с.

29. Супрович Т.М. Забійні показники та якість свинини за згодовування добавки «Мінактивіт» / Т.М.Супрович, Т.М.Приліпко, Т.В.Коваль // Таврійський науковий вісник – 2019. Вип. 106. – С.211-215

30. Технологія продукції харчових виробництв: навчальний посібник / Ф.В. Перцевий, Н.В. Камсуліна, М.Б. Колесникова, М.О. Янчева, П.В. Гурський, Л.М. Тіщенко / Харків: ХДУХТ, 2006. – 318 с.

31. Хімічний та мікробіологічний аналіз харчової продукції : навч. посібник / І.М. Кобаса, Л.М. Чебан, М.М. Воробець та ін. –Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2014. –196 с.

32. Явоненко О.Ф. Біохімія / О. Явоненко, Б. Яковенко. – Суми: Унів. кн., 2002. – 379 с.

33. Nadia M. Bogatko, Natalia V. Bukalova, Vasil P. Lyasota, Lyudmyla P. Artemenko1, Leonid M. Bogatko, Tetiana . Bakhu,. Tatiana M. Prilipko, Inna V. Zabarna, Lubov B. Savchuk, Svetlana A. Tkachuk Some indices' determination of raw and pasteurized cow milk by ukrainian manufacturers using unique express methods Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences (JMBFS) August – September 2019, vol. 9, no. 1 MAIN WEB SITEISSUE //www.fbp.uniag.sk

34. Prylipko T., Bukalova N., Lyasota V Features of the introduction of the HACCP system on enterprises of Ukraine The potential of modern scienct. London 2019 volume 1.p. p.49-60.

35. Prylìpko, T.M., Prylìpko, l.V. Task and priorities of public policy of Ukraine in food safety industries and international normative legal bases of food safety // Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects» (Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016). p.85-87.

36. Tatyana Prilipko. Natalia Bukalova. Control of quality of raw material for the production of dairies after the norms of EC. // Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects» (Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016). p.139-142.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Авітамінози – захворювання організму, зумовлені або відсутністю вітамінів, або порушенням процесів їх засвоєння в шлунково–кишковому тракті. Характерною ознакою авітамінозів є порушення різних ланок обміну речовин в організмі, затримка росту, зниження працездатності. Авітамінози є екзогенні та ендогенні. Причиною екзогенних авітамінозів є неповноцінне харчування, а також дисбактеріоз кишечника. Ендогенні авітамінози виникають при обмеженому використанні вітамінів організмом в результаті порушення всмоктування, транспорту, посиленого розщеплення або фізіологічно підвищеної потреби у вітамінах.

Адаптивні ферменти – ферменти, які утворюються в організмі при появі певного субстрату, для перетворення якого необхідний даний фермент. Синтезуються на генах, що «включаються» індукторами, яким є певні субстрати.

Аденін – гетероциклічна сполука, до складу якої входять два конденсовані цикли – імідазольний і піримідиновий. Аденін є похідним пурину, в якому атом водню біля вуглецю в шостому положенні заміщено на аміногрупу. Входить до складу РНК, ДНК, кофакторів ферментів, циклічних нуклеотидів тощо.

Аденозиндифосфорна кислота (АДФ) – нуклеозиддифосфат, який містить два залишки фосфатної кислоти біля 5'–вуглецевого атома рибози. АДФ відіграє важливу роль у живих системах і є акцептором фосфорильної групи в процесах окисного фосфоритування та фосфоритування на рівні субстрату, внаслідок чого відбувається синтез АТФ – універсального акумулятора енергії.

Аденозинтрифосфорна кислота (АТФ) – нуклеотид, в молекулі якого є пуринова основа аденін, зв’язана через рибозу з трьома фосфатними групами, сполученими послідовно одна з одною. АТФ служить головним хімічним переносником енергії при біохімічних реакціях в клітині.

Адреналін – гормон мозкового шару наднирників, який діє на тканини–мішені, підвишуючи концентрацію циклічного АРФ в клітинах; прискорює глікогеноліз в м'язах і печінці, підвищує вміст глюкози в крові і активує ліполіз в жировій тканині, підвищуючи вміст жирних кислот в крові.

Адренокортикотропний гормон (АКТГ) – гормон передньої долі гіпофізу, який має білкову природу і забезпечує формування структури та нормальне функціонування кори надниркових залоз.

Азотистий баланс – показник, який характеризує динаміку обміну білків в організмі. Його визначають як різницю між кількістю азотовмісних речовин, що надходять з продуктами харчування, і кількістю азоту, що виділяється з організму. Баланс азоту може бути позитивним (при вагітності, пухлинах, в ростучих організмів), негативним (при білковому голодуванні, інфекційних захворюваннях, порушеннях процесів травлення і старінні), нульовим (азотиста рівновага) – характерний для здорового, зрілого організму при повноцінному харчуванні.

Азотисті основи – компоненти нуклеїнових кислот, які утворюються при їх повному гідролізі за участю ферментів нуклеаз, нуклеотидаз та нуклеозидаз. Вони є похідними пурину (аденін, гуанін) та піримідину (цитозин, тимін, урацил).

Активний транспорт – перенесення йонів або нейтральних молекул через біологічні мембрани проти електрохімічного градієнта концентрації йонів, або градієнта хімічного потенціалу. Характерний для всіх живих організмів і відбувається за участю так званих молекулярних насосів, локалізованих у мембранах клітин. Як джерело енергії використовуються АТФ або електрохімічний потенціал йонів.

Активний центр ферменту – ділянка в просторовій тривимірній структурі молекули ферменту, яка забезпечує приєднання та перетворення субстрату. До складу активного центру складних ферментів входять коф актори і залишки амінокислот, орієнтовані в просторі. До складу активних центрів простих ферментів входять лише залишки амінокислот.

Альбуміни – група простих білків, які широко розповсюджені в тваринному та рослинному світі: входять до складу цитоплазми клітин, сироватки крові, лімфи, плазми, ліквору. Містяться в продуктах харчування – молоці, яйцях, зернах злакових та бобових культур. Виконують транспортну функцію, підтримують осмотичний тиск крові.

Альдостерон – гормон стероїдної природи, який виділяється корою надниркових залоз, приймає участь в регуляції мінерального обміну. При його нестачі розвивається бронзова хвороба, зменшуються зворотне всмоктування йонів Na^+ нирковими канальцями і нагромадження йонів K^+.

Аміак – кінцевий продукт білкового та азотистого обміну, що утворюється в результаті дезамінування амінокислот, біогенних амінів, пуринових та піримідинових основ, амідів кислот і розщеплення піримідинових основ. Досить токсична сполука, його нагромадження в тканинах може призвести до небажаних наслідків.

Амілази – ферменти класу гідролаз, які забезпечують гідроліз 1,4–глікозидних зв'язків у молекулах полісахаридів – глікогену, крохмалю. Залежно від специфіки дії ферменту розрізняють ά–, β–, γ–амілази.

Амінокислоти – похідні карбонових кислот, в яких один або кілька атомів водню у вуглецевому ланцюзі заміщені на аміногрупу – NH_2. Входять до складу білків, пептидів, біологічно активних сполук.

Амінокислоти напівзамінні – амінокислоти, які або утворюються в організмі у недостатній кількості, або синтезуються лише окремими організмами. До них належать гліцин, цистин, цистеїн, аргінін, орнітин, тирозин.

Амінокислоти замінні – амінокислоти, які можуть синтезуватись в організмах людини і тварин з інших речовин, переважно з кетокислот. До замінних амінокислот належать аланін, серин, пролін, оксипролін, аспарагінова кислота, глутамінова кислота.

Амінокислоти незамінні – амінокислоти, які не синтезуються в організмах людини і тварин і повинні обов'язково надходити в організм з продуктами харчування. Незамінними є метіонін, валін, лейцин, ізолейцин, норлейцин, треонін, лізин, фенілаланін, триптофан, гістидин.

Анаболізм – сукупність хімічних процесів в організмі, спрямованих на утворення та відновлення структурних компонентів органів і тканин. Досить інтенсивно анаболічні процеси проходять в період росту і розвитку організмів: у людини, тварин – у молодому віці, а в рослин – у вегетаційний період.

Аналіз небезпечного фактору [ризиків] – процес збирання і оцінки інформації стосовно виявлення потенційної небезпеки (ризиків) або передумови її виникнення у харчових продуктах.

Андрогени – чоловічі статеві гормони, які продукуються сім'яниками. Найважливішими серед них є андростерон, дегідроандростерон, тестостерон. Стимулюють розвиток вторинних статевих ознак, стимулюють обмінні процеси, посилюють окиснення жиру, забезпечують синтез білків у м'язах, сприяють розвитку мускулатури.

Антибіотики – продукти життєдіяльності мікроорганізмів (бактерій, плісняви, актиноміцетів), рослин і тварин, які виробляються ними з метою власного захисту від дії інших мікроорганізмів.

Антиоксиданти – речовини, які сповільнюють або запобігають окисненню органічних сполук молекулярним киснем.

Антитіло – білок сироватки крові, який синтезується у відповідь на проникнення в організм чужорідної речовини (антигену). Антитіла вибірково зв'язуються з агентами, що мають антигенні властивості, нейтралізуючи їх токсичність або інфекційність.

Апофермент – білковий компонент ферменту, який залишається після відділення коферменту. Він позбавлений активності і здатний знову її набувати після приєднання простетичної групи.

Асиміляція – частина загального обміну речовин, яка полягає в поглинанні, засвоєнні, нагромадженні та перетворенні речовин, що надходять в організм. Найінтенсивніше процеси асиміляції здійснюються в період росту організму.

Ацетил–Коа (активний ацетат) – сполука, що утворюється у вигляді проміжного продукту під час перетворення різних субстратів – вуглеводів, ліпідів, білків. Ацетилкоензим А є досить важливим субстратом циклу Кребса, де відбувається окиснення його до кінцевих продуктів з виділенням енергії.

Ацетилхолін – один з медіаторів периферичної і центральної нервової системи. Після виконання ролі медіатора нервових збуджень ацетилхолін руйнується за участю фермента ацетилхолінестерази.

Ацетонемія – підвищений вміст у крові ацетонових (кетонових) тіл – ацетону, ацетооцтової і β–оксимасляної кислот, які є проміжними продуктами обміну речовин. Висока концентрація ацетонових тіл у крові порушує кислотно–лужну рівновагу, викликає ряд патологічних змін у різних ланках обміну речовин в організмі, що може призвести до коматозного стану.

Бактеріальний бомбаж – дефект, зумовлений діяльністю газотвірних бактерій, які у процесі стерилізації зберегли життєздатність.

Бактерицидні властивості – здатність продукту пригнічувати ріст мікрофлори.

Бактерицидна фаза молока – період, упродовж якого бактерії, що потрапили в молоко, не розмножуються.

Бактеріальні закваски – чисті культури відповідних видів мікроорганізмів.

Безпека [нешкідливість] харчового продукту – забезпечення комплексу заходів, умов і вимог, установлених до процесів виробництва, зберігання, транспортування, використання та реалізації харчових продуктів, які гарантують відсутність їх небезпечного впливу на життя та здоров'я споживачів.

Бета (β)–окиснення – ферментативний процес, який протікає в мітохондріях. Завдяки йому жирні кислоти піддаються окисному розпаду в β–положенні. При цьому послідовно вивільняються двох вуглецеві фрагменти (у вигляді ацетил–КоА), що веде до послідовного вкорочення вуглецевого ланцюга в молекулі жирної кислоти.

Білірубін – жовчний пігмент, продукт розпаду, який утворюється при розмиканні порфіринового кільця в сполуках, які накопичуються при розпаді гему. В молекулі білірубіну є чотири пірольних кільця, які сполучені між собою в прямий ланцюг.

Білки, протеїни – природні органічні високомолекулярні сполуки, мономерами яких є амінокислоти, сполучені пептидними зв’язками. Білки є досить важливими у біологічному відношенні та досить складними за

структурою сполуками. Вони зустрічаються в усіх живих організмах іє основою їх життєдіяльності.

Білковий мінімум – мінімальна кількість білків у раціоні, яка забезпечує азотисту рівновагу при дієті, що задовольняє енергетичні потреби організму. Рівень білкового мінімуму залежить від фізіологічних особливостей організму, віку, професії, якості білків та небілкових компонентів їжі.

Бланшування – спосіб короткочасного варіння сировини у воді, у власному соку чи у паровому середовищі до неповної готовності.

Біогенні елементи – група хімічних елементів, які постійно зустрічаються в складі живої матерії і відіграють важливу роль у забезпеченні процесів життєдіяльності. Серед них розрізняють органогенні те неорганогенні. Близько 97,4% загальної маси організму припадає на п’ять біоелементів: O_2, C, H, N, P. Ці елементи забезпечують виконання організмом життєво важливих функцій.

Біокаталіз – механізм прискорення хімічних перетворень біополімерів організму, що забезпечується участю ферментів.

Біологічна хімія (біохімія) – наука про хімічний склад, будову, властивості та перетворення органічних сполук, що входять до складу живої матерії і є основою її життєдіяльності.

Біологічне окиснення – сукупність ферментативних реакцій окиснення та відновлення, які відбуваються в клітинах організму під час внутрішньоклітинного обміну і відіграють важливу роль у забезпеченні організму енергією та метаболітами, необхідними для нормального перебігу процесів життєдіяльності.

Біологічна цінність продукту – ступінь корисності продукту (перетравлення, всмоктування і засвоєння організмом) для людини, який визначається його поживністю. Залежить від умісту незамінних амінокислот, поліненасичених жирних кислот, вітамінів, мінеральних речовин, яким властива висока біологічна цінність, фосфоліпідів, деяких барвних та інших біологічно активних речовин (усього до 70) і включає в себе нешкідливість та біологічну активність.

Бродіння – процес глибокого розпаду молочного цукру під дією ферментів мікроорганізмів (ферменти молочнокислих бактерій та паличок викликають молочнокисле бродіння, а дріжджів – спиртове).

Буферні системи організму – системи, що забезпечують підтримання кислотно-лужної рівноваги, сталості pH рідин організму.

Вазопресин – гормон задньої долі гіпофізу, який підвищує тиск крові, стимулює реабсорбцію води в дистальних канальцях нирок, зменшує діурез (антидіуретична дія), сприяє скороченню непосмугованих м'язових волокон внутрішніх органів і кровоносних судин.

Варіння – спосіб теплової обробки м'ясопродуктів у воді, атмосфері насиченої пари або пароповітряної суміші за температури вище 75°С, внаслідок чого продукт досягає стану повної кулінарної готовності, набуває специфічного кольору, смаку, запаху і аромату. Варіння також відбувається під час нагрівання напівфабрикатів у металевій формі в бульйоні, який виділяється.

Вітаміни – органічні сполуки, різні за хімічною природою та фізико–хімічними властивостями, які в основному не синтезуються в організмах людини та більшості тварин і в невеликих кількостях необхідні для забезпечення процесів життєдіяльності.

Вітаміноподібні сполуки – група органічних речовин різної хімічної природи, нестача яких у продуктах харчування та недостатнє надходження в організм не викликає різко виражених змін в обмінних процесах організму. За біологічними функціями ці речовини більше подібні не до вітамінів, а до амінокислот, деяких ліпідів, вищих жирних кислот.

Власне дозрівання м'яса – сукупність змін найважливіших властивостей м'яса, зумовлених поглибленим розвитком автолізу, внаслідок якого м'ясо набуває ніжної консистенції та необхідної соковитості, добре вираженого специфічного приємного аромату й смаку, здатності до набрякання (більша вологоємність), стає м'якшим і доступним дії травних ферментів порівняно з м'ясом у стані посмертного заклякання.

Водно–сольовий обмін – сукупність процесів надходження, використання та виділення з організму води і мінеральних солей. Основна роль цього обміну – підтримання гомеостазу (сталості внутрішнього середовища) організму.

Воски – група простих ліпідів, які за хімічною будовою є складними ефірами вищих жирних кислот і вищих одноатомних чи двохатомних спиртів.

Вуглеводи – органічні речовини, до складу яких обов'язково входять три хімічні елементи – Оксиген, Гідроген, Карбон. За хімічними властивостями вони є багатоатомними альдегідо– і кетоноспиртами. За будовою молекули їх поділяють на дів групи – прості, або моносахариди, і складні, або полісахариди.

Гемоглобін – складний білок хромопротеїдної природи, який бере участь у транспорті кисню від альвеол легень до тканин та вуглекислого газу в протилежному напрямку, забезпечуючи тим самим дихальну функцію крові.

Гемоліз – руйнування (набухання) еритроцитів, яке відбувається, якщо помістити еритроцити в гіпотонічні розчини.

Гіпервітаміноз – вид патології, який виникає при надмірному введенні вітамінів в організм.

Гіперглікемія – надмірне підвищення вмісту цукру в крові. Причиною гіперглікемії найчастіше є порушення гормонального статусу організму.

Гіпоглікемія – зниження вмісту цукру в крові. При гіпоглікемії спостерігаються слабкість, сонливість, відчуття голоду, зниження працездатності, психічні розлади, амнезія, втрата свідомості, вазомоторні розлади.

Гіпоксія (кисневе голодування) – стан, що виникає при недостатньому постачанні тканин організму киснем або при порушенні його використання під час біологічного окиснення.

Глікоген – резервний полісахарид, який міститься в тваринних організмах, а також у клітинах грибів, дріжджів та деяких рослин. В тваринних організмах глікоген локалізований в печінці (20%), та м'язах (4%).

Глікогенез – синтез глікогену шляхом полімеризації глюкозних мономерів.

Глікогеноліз – розщеплення полімерних полісахаридних ланцюгів в молекулі глікогену з утворенням вільної глюкози або фосфорних ефірів глюкози.

Гліколіз – ферментативний процес анаеробного перетворення глюкози з утворенням молочної кислоти. Якщо анаеробному розщепленню підлягає глікоген, процес має назву глікогенолізу. Ферменти гліколізу містяться в м'язах, печінці та інших органах і локалізуються в гіалоплазмі.

Гліколіпіди – група складних ліпідів, які містять вуглеводний компонент, сполучений з ліпідною частиною молекули за допомогою ковалентних зв’язків.

Гліконеогенез – синтез вуглеводів із невуглеводних попередників, насамперед кетокислот та глікогенних амінокислот.

Глікопротеїди – складні білки, які у вигляді простетичної групи містять залищки вуглеводів та їх похідних.

Глибокий автоліз (гниття) м’яса – процес глибокого розпаду білків м'яса та їх похідних під впливом мікроорганізмів та ферментів з різними хімічними перетвореннями компонентів м'яса, що призводить до накопичення небажаних і токсичних продуктів розпаду.

Глюкагон – гормон, який виділяється ά–клітинами підшлункової залози, має досить виражену гіперглікемічну дію.

Глюкозурія – вид патології, який характеризується появою глюкози в сечі. Найчастіше є наслідком порушень вуглеводного обміну при цукровому діабеті чи гострому панкреатиті.

Гормони – біологічно активні речовини різної хімічної природи, які утворюються спеціалізованими клітинами залоз внутрішньої секреції, виділяються безпосередньо в кров, лімфу або ліквор і регулюють обмін речовин та фізіологічні функції організму.

Гормоноїди (тканинні гормони) – речовини, різні за хімічною природою, властивостями на напрямком біологічної дії, які виділяються спеціалізованими клітинами органів і тканин організму і виявляють місцеву регуляторну дію на метаболічні процеси. На відміну від гормонів синтез їх не має суворої локалізації, крім того, для них характерною є місцева, а не дискантна дія.

Гранично допустима концентрація [ГДК] – обмежені кількості сторонніх речовин в атмосфері, воді, продуктах харчування з точки зору нешкідливості для здоров'я людини.

Денатурація – втрата білковими молекулами характерної для них нативної конформації, що є наслідком впливу денатуруючих факторів – температури, pH середовища, іонізуючого випромінювання тощо.

Джерела обсіменіння продуктів мікроорганізмами – об'єкти, на поверхні й усередині яких розмножуються патогенні й апатогенні мікроорганізми.

Дисахариди – складні вуглеводи, молекули яких побудовані з двох залишків моносахаридів.

Дихальний ланцюг – локалізована в мітохондріях послідовність флавопротеїдів, гемопротеїдів (цитохромів) і негімінових залізопротеїдів, яка здійснює перенесення електронів від субстратів на кисень.

Діабет цукровий – вид патології, що характеризується порушенням вуглеводного, білкового, ліпідного і водно–мінерального обміну. Розвивається при абсолютній і відносній нестачі інсуліну в організмі.

Доброякісність продукту – відповідність органолептичних та фізико-хімічних показників його якості нормам, передбаченим чинними стандартами і технічними умовами.

Дозрівання сичугових сирів – процес утворення протеолітичних ферментів молочнокислими і пропіоновокислими бактеріями, які сприяють гідролізу складних білків з утворенням пептидів, амінокислот, оксигену, гідрогену та інших газоподібних речовин, котрі заповнюють проміжки між сирними зернами, формуючи вічка з певним для кожного виду сиру рисунком.

Допустима добова доза [ДДД] – кількість продукту, щодобове надходження якого не становить ризику для здоров'я людини протягом усього життя (мг/кг маси). Розраховується як добуток ДДД на середню величину маси тіла (60-70 кг).

Екзогенне обсіменіння мікроорганізмами – проникнення збудника у результаті контакту з різноманітними джерелами мікробного обсіменіння: твариною, людиною, ґрунтом, гноєм, водою тощо.

Емульгатори – речовини, які підтримують певну структуру продуктів харчування, сприяють створенню або збереженню гомогенної суміші двох чи більше несумісних фаз у продуктах харчування. За допомогою емульгаторів отримують високодисперсні стійкі водно-жирові емульсії, які мають оптимальні технологічні властивості і забезпечують добрі споживні властивості та якість продукції під час зберігання багатьом виробам тваринного походження.

Ендогенне обсіменіння патогенними мікроорганізмами – проникнення збудника інфекції в організм аерогенним, аліментарним або іншим шляхом при інфекційних хворобах тварин.

Жири (нейтральні жири, тригліцериди) – складні ефіри трьохатомного спирту гліцерину та вищих жирних кислот.

Жирні кислоти – одноосновні карбонові кислоти аліфатичного ряду. Вони є основними складовими компонентами простих та складних ліпідів, а також зустрічаються в організмі у вільному стані. Жирні кислоти бувають насичені і ненасичені.

Жовчні кислоти – стероїдні сполуки, похідні холанової кислоти, важливі інградієнти жовчі, які забезпечують всмоктування продуктів гідролізу жирів (жирних кислот) у кишках людини і тварин.

Жовчні пігменти – кінцеві продукти розщеплення гемоглобіну та інших гемопротеїдів. Виділяються з жовчю і надають їй характерного забарвлення. У жовчі людей та хижаків переважає жовчний пігмент білірубін, а в жовчі травоїдних – біліверди н.

«Загар» м’яса – зміна якості м'яса внаслідок немікробного псування, що виникає під час неправильного охолодження парної туші під впливом тканинних ферментів і характеризується дуже кислим запахом, розм'якшеною консистенцією та зміною кольору.

Запікання – процес термічної обробки м'ясопродуктів до кулінарної готовності за допомогою сухого гарячого повітря температурою 85-185°С. Застосовують до тих ковбасних виробів, які випускаються без оболонки (м'ясні хліби, які виготовляються за різноманітними рецептами, але за складом фаршу являють собою різновид вареної ковбаси, і паштети, які є ліверною ковбасою без оболонки), і піддають термічній обробці в металевих формах або при контакті з нагрівним середовищем.

Засолювання м’яса – процес уведення в м'ясо засолювальних речовин (часто разом із нітритами, спеціями, цукром, фосфатами, аскорбінатами тощо) і витримки його протягом певного часу для досягнення необхідних технологічних властивостей готового продукту (смак, аромат, колір, консистенція) та запобігання його мікробному псуванню.

Зимогени (проферменти) – неактивні форми протеолітичних ферментів (протеаз) травного каналу та підшлункової залози (пепсиноген, трипсиноген, хімотрипсиноген), які перетворюються на активні форми під дією певних агентів.

Ізоелектрична точка (ІЕТ) – значення pH середовища, при якому молекули електронейтральні, тобто містять однакову кількість позитивно і негативно заряджених груп.

Ізоферменти – молекулярні форми ферментів, які характеризуються генетично зумовленими відмінностями первинної структури, набором і співвідношенням субодиниць та різною каталітичною активністю. Ізоферменті форми характерні для більшості ферментів рідин і тканин організму.

Імобілізовані ферменти – штучно добуті комплекси ферментів із нерозчинним у воді носієм.

Імуноглобуліни – складні глобулярні білки глікопротеїдної природи, здатні специфічно зв’язуватись з антигеном, який стимулює їх утворення, тобто виявляють властивості антитіл і забезпечують гуморальний імунітет.

Інгібітори – речовини, що гальмують каталітичні та ланцюгові процеси, які відбуваються за участю активних центрів або активних часточок.

Індуковані ферменти – біокаталізатори, швидкість синтезу яких змінюється залежно від умов існування організму.

Інсулін – гормон підшлункової залози, який виробляється β–клітинами острівців Лангерганса. Основна біологічна функція інсуліну – регуляція рівня глюкози в крові.

Катаболізм – сукупність реакцій проміжного обміну, які пов'язані з розщепленням складних органічних сполук до простих метаболітів з одночасним виділенням енергії, частина якої акумулюється в макроергічних зв'язках АТФ.

Кетонові тіла – продукти неповного окиснення жирних кислот – ацетон, ацетооцтова кислота і β–оксимасляна кислота.

Кислотно–лужна рівновага – співвідношення йонів H^+ та OH^- у внутрішньому середовищі організму. Регуляція здійснюється фізико–хімічними та фізіологічними механізмами – буферними системами крові та тканин, системами дихання, виділення тощо.

Комісія Кодекс Аліментаріус – спільна комісія у складі ФАО/ВООЗ із питань якості та безпеки харчових продуктів, мета якої – створення міжнародних стандартів щодо харчових продуктів для забезпечення безпеки споживачів. Її членами є понад 465 країн.

Консерванти – речовини, які здатні збільшувати строк зберігання харчових продуктів шляхом попередження їх від розвитку мікробіологічних процесів та запобігати псуванню сировини у процесі технологічної переробки. Консерванти використовують, в основному, в тих випадках, коли інші засоби збереження продуктів неможливі. При цьому вони не повинні погіршувати органолептичні властивості продукту.

Консервування – процес закривання продукту в герметичну тару з наступною тепловою обробкою до моменту, коли будь-які мікроорганізми знищуються чи знешкоджуються відповідною температурою, незалежно від температури, за якої продукт буде зберігатися.

Консервування проб молока – процес застосування холоду чи хімічних речовин у випадку неможливості проведення аналізу проб молока відразу ж після їх відбору.

Копчення – процес обробки (просочування) харчових продуктів коптильними речовинами, отриманими у вигляді диму за неповного згорання деревини для надання продукту своєрідного смаку й аромату.

Кортикостероїди – гормони кори надниркових залоз, які належать до стероїдів. Виділяють мінералокортикостероїди та глікокортикостероїди. Мінералокортикоїди регулюють обмін води та електролітів, глікокортикоїди регулюють вуглеводний обмін, впливають на діяльність серцево–судинної системи, виявляють антизапальну та антиалергічну дію, гальмують імунні реакції організму.

Кофермент А (коензим А, КоА–SH) – коферментна форма пантотенової кислоти, що входить до складу активного центру деяких ферментів. Сполучаючись з апоферментом, він утворює каталітично активний фермент – протеїд. Під час ферментативного каталізу кофермент А може легко відокремлюватись від білкової молекули, тобто є типовим коферментом.

Кофермент Q (КоQ) – жиророзчинне похідне бензохінону, яке функціонує як переносник електронів між флавопротеїдами і цитохромами дихального ланцюга.

Креатинфосфат – макроергічна сполука, яка міститься у скелетних мязах, серці, мозку, нервовій тканині і бере участь у енергетичному обміні. При гідролізі в організмі креатинфосфат перетворюється на креатин.

Кребса цикл – кінцева стадія окисного катаболізму, в якому відбувається повне «згоряння» до CO_2 і H_2O активної форми оцтової кислоти (ацетил–КоА), яка утворюється у вигляді проміжного продукту вуглеводного, ліпідного та білкового обміну.

Критична точка контролю [КТК] – стадія виробництва, на якій можливе здійснення контролю, яка має вирішальне значення для попередження чи видалення небезпечного чинника або зменшення його до допустимого рівня стосовно безпеки харчового продукту.

Лімфа – рідина жовтуватого кольору, що циркулює у лімфатичні системі тварин і людини. Основні функції лімфи – трофічна та захисна.

Ліпіди – група органічних сполук різної хімічної будови, які входять до складу живих організмів і мають деякі спільні ознаки: гідрофобність, біогенність, фізико–хімічні властивості. Усі ліпіди нерозчинні у воді і добре розчинні в органічних розчинниках.

Ліпопротеїди – складні білки, які у вигляді простетичної групи містять ліпідний компонент, зв'язаний з білковою частиною. Найчастіше простетичною групою є нейтральні жири (тригліцериди), фосфатиди, холестерин.

Макроергічні сполуки – природні складні органічні сполуки різної хімічної природи, які містять зв'язки, багаті на енергію (макроергічні зв'язки). Макроергічні зв'язки в макроергічних сполуках позначають знаком тильда (~). Макроергічні сполуки містяться в усіх клітинах організму і забезпечують процеси енергообміну. Найважливішою макроергічною сполукою організму є АТФ.

Мінеральний обмін – засвоєння, перетворення та виділення неорганічних речовин, їх розподіл та участь у метаболічних реакціях організму.

Міоглобін – складний білок хромопротеїдної природи, який міститься у м'язах і забезпечує в них резерв кисню. В стані спокою в м'язах нагромаджується міоглобін, збагачений киснем – оксиміоглобін, який використовується при фізичному навантаженні під час передачі кисню окисним системам клітини.

Міозин – білок скоротливих волокон м'язів – міофібрил становить до 55% від їх сухої маси.

Мітохондрії – специфічні органели клітин еукаріот, внутрішньоклітинні центри аеробного дихання, в яких виділяється енергія окиснення органічних сполук та нагромаджується в макроергічних зв'язках АТФ. Тому мітохондрії дістали назву «силових станцій» клітин.

Мутаротація – зміна величини кута обертання площини поляризації свіжого розчину моносахариду (збільшення або зменшення) до досягнення сталої величини, характерної для певного моносахариду.

HACCP-система (Hazard Analysis Critical Control Poiants) – міжнародна логічна науково обгрунтована система, яка контролює безпеку при виробництві харчових продуктів, оцінює ризики, суттєві для забезпечення їхньої безпеки для споживача, контролює критичні точки та небезпечні фактори і керує ними. Згідно рішення Кабінету Міністрів України *система HACCP* на підприємствах харчової промисловості в Україні повинна бути впроваджена за 8 років, починаючи з 2004 р.

Незамінні жирні кислоти – поліненасичені жирні кислоти (лінолева, ліноленова, арахідонова), які в організмі не синтезуються і повинні надходити в організм з продуктами харчування.

Нейрогормони – біологічно активні сполуки, які виділяються нейросекреторними клітинами нервової тканини і забезпечують регуляцію різних ланок метаболізму, функціональну діяльність деяких залоз внутрішньої секреції тощо.

Нейромедіатори – сполуки різної хімічної природи, які забезпечують хімічну передачу в синапсах.

Нейросекреція – здатність спеціалізованих нейросекреторних клітин нервової тканини до продукування гормонів, які виділяються у кров та спинно-мозкову рідину.

Нікотинамідаденіндинуклеотид (НАД) – кофермент окисно-відновних реакцій, функціональною групою якого є вітамін нікотинамід.

Нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат (НАДФ) – цей кофермент відрізняється від НАД наявністю додаткової фосфатної групи. Відрізняється від НАД здатністю взаємодіяти з дегідрогеназами.

Нуклеїнові кислоти – складні біополімери клітини, які включають велику кількість мононуклеотидних ланок. Зустрічаються у всіх видах організмів і характеризуються унікальними структурами та функціональними властивостями. У клітинах існують два види нуклеїнових кислот – рибонуклеїнові (РНК) та дезоксирибонуклеїнові (ДНК). Біологічна роль нуклеїнових кислот полягає у збереженні і передачі генетичної інформації.

Нуклеозид – сполука, в молекулі якої є азотиста основа (пурин або піримідин), зв'язана із залишком цукру пентози.

Нуклеопротеїди – складні білки, які у вигляді простетичної групи містять рибо– або дезоксирибонуклеїнові кислоти. Перші називаються рибонуклеопротеїдами (РНП), а другі – дезоксирибонуклеопротеїдами (ДРНП). Входять до складу всіх клітин і тканин організму. РНП локалізовані переважно в цитоплазмі, а ДРАП – в ядрі клітин.

Нуклеотид – сполука, в молекулі якої є азотиста основа (пурин або піримідин), зв'язана через цукор пентозу з однією або кількома фосфатними групами. Нуклеотиди можуть функціонувати як коферменти, а також можуть піддаватися полімеризації з утворенням нуклеїнових кислот (ДНК і РНК).

Обмін енергії – сукупність процесів, які забезпечують кругообіг енергії між організмом і навколишнім середовищем і супроводжуються нагромадженням, трансформацією та виділенням її в процесі життєдіяльності.

Обмін речовин (метаболізм) – одна з найважливіших і найбільш суттєвих ознак живих систем, яка включає велику кількість різних і часто протилежних процесів (фізичних, хімічних, фізіологічних), що забезпечують постійне самооновлення та само відтворення живої матерії, існування організму, його єдності з навколишнім середовищем.

Окисно–відновна реакція – хімічний процес, при якому один (або більше) електрон переходить від речовини, яка окиснюється, до речовини, яка відновлюється.

Окисне фосфорилування – процес синтезу АТФ з АДФ та неорганічного фосфату, який здійснюється за допомогою енергії окиснення різних субстратів під час перенесення протонів і електронів по системі дихального ланцюга.

Оксигемоглобін – сполука гемоглобіну з молекулярним киснем (HbO_2), яка забезпечує транспорт його від органів дихання до тканин організму.

Оксидоредуктази – ферменти, що каталізують окисно–відновні процеси в організмі.

Органолептичні властивості продукту – зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція, смак, апетитність продукту для людей, які сприймаються і визначаються органами чуття.

Оцінка рівня якості продукції – сукупність операцій, які включають вибір номенклатури показників якості продукції, що оцінюється, визначення значень цих показників та зіставлення їх із базовими.

Панкреатичний сік – секрет підшлункової залози, безбарвна рідина з лужною реакцією, містить ферменти, які забезпечують розщеплення в тонкій кишці різних субстратів – білків, вуглеводів, ліпідів, нуклеїнових кислот.

Пастеризація консервів – різновид термічної обробки ізольованого від зовнішнього середовища продукту (як правило, крові, продуктів її переробки та продуктів переробки печінки), за якої мікроорганізми не проявляють шкідливої дії. Під час виготовлення якісних пастеризованих консервів до сировини пред'являють ряд додаткових жорстких санітарно-гігієнічних та технологічних вимог.

Пептидний зв'язок – міцний ковалентний зв'язок, що стабілізує первинну структуру білків. Утворення пептидного зв’язку відбувається внаслідок поліконденсації амінокислотних залишків при взаємодії ά–карбоксильної групи однієї амінокислоти з ά–аміногрупою іншої з виділенням води.

Плазмоліз – відокремлення шару цитоплазми від твердої оболонки клітини, явище, протилежне гемолізу. Причиною плазмолізу є стиснення цитоплазми під дією гіпертонічних розчинів.

Показники безпеки продовольчої продукції – науково обґрунтовані показники вмісту компонентів чи речовин хімічного, біологічного або будь-якого іншого походження в продукції, недотримання яких призводить до шкідливого впливу на здоров'я людини.

Показники якості харчових продуктів та продовольчої сировини – комплекс ознак та властивостей, притаманних кожному виду харчового продукту чи продовольчої сировини, які визначають їх харчову цінність і споживні властивості та дають можливість ідентифікувати конкретний харчовий продукт або продовольчу сировину.

Полімер – велика молекула, яка утворена шляхом сполучення елементарних молекулярних ланцюгів (мономерів).

Поліпептиди – природні і синтетичні полімери, які містять у своєму складі мономерні оанки – амінокислотні залишки.

Полісахариди – природні високомолекулярні сполуки, молекули яких складаються з великої кількості моносахаридних ланок, зв’язаних глікозидними зв’язками.

Попередження розмноження мікроорганізмів [мікробіологічна небезпека] – спосіб знешкодження мікроорганізмів шляхом застосування термічної обробки, ферментів, хімічних сполук (солі, кислоти) чи фізичних факторів (мікрохвильове, ультрачервоне опромінення тощо). Мікробіологічна небезпека має значний вплив на здоров'я людини, тому вона віднесена до ризиків.

Простетична група – компонент ферментів–протеїдів та інших складних білків, який зв’язаний з білковою частиною міцними ковалентними зв’язками. Простетичними групами ферментів, як правило, є похідні вітамінів, нуклеотидів, залізопорфіринів та інших складних органічних сполук.

Сечовина (карбамід) – кінцевий продукт білкового обміну людини та більшості хребетних тварин. Міститься в крові, м'язах, слині, лімфі та інших рідинах та тканинах організму. Утворення сечовини в організмі є одним з важливих шляхів знешкодження аміаку. Основна маса сечовини виділяється з організму разом із сечею та потом.

Сиропридатність молока – можливість виготовлення з молока сирів. Такс молоко має бути свіжим, з нормальним смаком, кольором, запахом, консистенцією, з необхідною кількістю йонів кальцію, оптимальним співвідношенням жиру й казеїну, оптимальною концентрацією іонів гідрогену (величина pH 5,5-5,7) та без домішок нормального молока. Формування показників сиропридатності і і молока визначається санітарно-гігієнічними умовами його отримання на фермах, раціонами годівлі, умовами утримання, станом здоров'я, породою та віком лактуючих тварин тощо.

Смаження – спосіб теплової обробки м'ясних продуктів за відсутності води та наявності досить великої кількості розплавленого жиру, який виконує роль рідкого теплоносія і забезпечує рівномірне нагрівання всієї поверхні на певну глибину до температури вище 100 °С в умовах, близьких до сухого нагрівання.

СОТ – світова організація торгівлі, між членами якої існує цілий ряд багатосторонніх торгових угод з дотриманням принципів та вимог Комісії Кодекс Аліментаріус стосовно інспекції, сертифікації, імпорту та експорту харчових продуктів.

Стабілізатори – речовини, які зберігають задану консистенцію харчових продуктів, сприяють підтримці незмінного фізико-хімічного стану продуктів харчування за рахунок збереження гомогенної дисперсії двох чи більше компонентів, які не змішуються.

Стероїдні гормони – фізіологічно активні сполуки стероїдної природи, які виділяються ендокринними залозами і регулюють обмін речовин в організмах людини і тварин. Стероїдну природу мають гормони кори надниркових залоз (кортикостероїди), статеві гормони.

Субстрат – сполука, на яку спрямована дія ферменту. Субстратами, як правило, є органічні сполуки різної хімічної природи – високомолекулярні полімери та низькомолекулярні сполуки.

Сушіння – процес, який здійснюється в спеціальних сушильних камерах для підвищення стійкості продукту до дії гнилісної мікрофлори, завдяки якому масова частка поживних речовин в одиниці маси готового продукту збільшується, поліпшуються умови його зберігання і транспортування.

Тиндалізація – процес багаторазової пастеризації, за якого відбувається чергування нагрівання продукту, який консервується, до температури нижче 100°С із наступною його витримкою за температури 18-25°С.

Тканинне дихання – багатоступінчастий ферментативний процес окиснення органічних субстратів в організмі, який полягає в транспорті електронів і протонів водню від донора (речовини, що окислюється) до

кінцевого акцептора (кисню) по системі дихального ланцюга з утворенням води.

Токсичність – здатність продукту шкідливо впливати на організм людини за наявності в ньому нітритів, пестицидів, радіонуклідів, токсичних речовин, які продукуються мікроорганізмами, важких металів (їх близько 20), речовин канцерогенної дії, що спричиняють утворення злоякісних пухлин.

Транскрипція ДНК – передача інформації між різними видами нуклеїнових кислот ДНК → РНК, під час якого відбувається реалізація першого етапу передачі генетичної інформації в живих системах.

Трансляція – етап реалізації генетичної інформації, який полягає в переведенні нуклеотидної послідовності первинної структури іРНК в послідовність амінокислотних залишків у первинній структурі білка. Процес трансляції здійснюється на рибосомах за участю складних ферментативних систем, білкових факторів та йонів металів.

Транспорт речовин – системи транспорту різних сполук в організмі, які забезпечують доставку необхідних речовин та йонів до різних органів і тканин з током крові та лімфи, засвоєння їх клітинами, перетворення та виділення продуктів обміну.

Транспортні РНК (тРНК) – один звидів рибонуклеїнових кислот клітин, який відіграє важливу роль у забезпеченні перенесення активних форм амінокислот – аміноациладенілатів, до рибосомного апарата клітини, де вони використовуються при білковому синтезі.

Транспортні форми ліпідів – ліпопротеїдні комплекси, до складу яких входять ре синтезовані ліпіди (тригліцериди, гліцерофосфатиди), які утворюються в епітеліальних клітинах тонкої кишки, деякі продукти гідролітичного розщеплення ліпідів – жирні кислоти, холестерин, β–моногліцериди тощо. Найважливішими транспортними формами ліпідів в організмі є хіломікрони, ά– і β–ліпопротеїди, та жирні кислоти.

Тригліцериди (триацилгліцерини, прості жири) – прості ліпіди, які є складними ефірами трьохатомного спирту гліцерину та вищих жирних кислот.

Тургор – це гідростатичний внутрішній тиск клітини, що означає повне насичення клітини водою; напружений стан клітинної стінки, зумовлений тиском на неї цитоплазми зсередини клітини.

Умовно придатне м'ясо – туша, напівтуша, четвертина або її частина, які дозволяється використовувати на харчові потреби після знезаражування.

Ферменти – біологічні каталізатори білкової природи, які утворюються та функціонують в усіх живих організмах і забезпечують чітку запрограмованість, координацію та узгодженість численних метаболічних процесів.

Фермент–субстратний комплекс – проміжна активована сполука, яка утворюється при зв'язуванні субстрату з активним центром ферменту в процесах ферментативного каталізу.

Фосфатиди (фосфоліпіди) – складні ліпіди, до складу яких входять багатоатомний спирт, залишки жирних кислот, азотистих основ та фосфату.

Фосфопротеїди – складні білки, які у вигляді простетичної групи містять залишки фосфату, зв'язані з білковою частиною складно ефірними зв'язками через залишки оксиамінокислот – серину, треоніну.

Фотосинтез – процес синтезу органічних сполук з вуглекислого газу та води з використанням енергії світла й за участю фотосинтетичних пігментів (хлорофіл у рослин; хлорофіл, бактеріохлорофіл і бактеріородопсин у бактерій), часто з виділенням кисню як побічного продукту.

Фототаксис – властивість клітин або мікроорганізмів орієнтуватися і рухатися у напрямку до або від джерела світла. Це вигідно для фототрофних організмів, оскільки вони можуть орієнтуватися ефективніше всього для отримання світла через фотосинтез.

Харчова добавка (за визначенням Закону України про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини) – природна чи синтетична речовина, яка спеціально вводиться у харчовий продукт для надання йому бажаних властивостей.

Харчова добавка (за визначенням Комісії ФАО/ВООЗ – Кодекс Аліментаріус) – будь-яка речовина, що не використовується як їжа в нормальних умовах і не застосовується як типовий інгредієнт їжі незалежно від

її харчової цінності, спеціально добавлені з технічною метою, у тому числі для поліпшення органолептичних властивостей під час виробництва, обробки, пакування, транспортування або зберігання харчових продуктів.

Хіломікрони – дрібні ліпідні краплі, які складаються з нейтральних жирів, невеликої кількості холестерину і фосфоліпідів, оточені тонкою білковою оболонкою; синтезуються в клітинах слизової оболонки кишечника з продуктів перетравлення ліпідів і виділяються в лімфатичні судини.

Холестерин – ненасичений одноатомний полі циклічний спирт, похідне циклопентанпергідрофенантрену. Належить до тваринних стеринів – зоостеринів. Основна маса холестерину міститься в нервовій тканині, печінці, еритроцитах, надниркових залозах. Він є вихідною сполукою для синтезу великої кількості біологічно активних сполук – стероїдних та статевих гормонів, вітамінів, жовчних кислот. Важлива роль належить холестерину в утворенні клітинних мембран.

Хромопротеїди – складні білки, які у вигляді простетичної групи містять забарвлену речовину. Беруть участь у забезпеченні енергетичних процесів, ферментативної активності біополімерів, транспортної функції крові, резервування кисню тощо.

Цитохроми – складні залізовмісні білки, які у вигляді простетичної групи містять залізо порфіринові комплекси. Локалізовані на внутрішніх мембранах мітохондрій, хлоропластів, ендоплазматичного ретикулуму та інших мембранних структурах клітини, беруть участь у різних окисно–відновних процесах – тканинному диханні, фотосинтезі тощо.

Цукор крові – важливий показник гомеостазу, що характеризує стан вуглеводного обміну організму. Під поняттям «цукор крові» розуміють глюкозу та деякі сполуки (глутатіон, сечова кислота та ін.), які визначаються разом з глюкозою на основі їх редукуючих властивостей

Шлунковий сік – секрет, що виділяється шлунковими залозами та епітеліальними клітинами слизової облонки. Прозора безбарвна рідина з завислими часточками слизу. Містить соляну кислоту, ферменти, мінеральні речовини, воду, біологічно активні сполуки – гастрит, лізоцим. Шлунковий сік

має кислу реакцію – pH = 1,5–2,0. Важливими компонентами шлункового соку є соляна кислота та фермент пепсин, які забезпечують ферментативний гідроліз білків.

Якість харчових продуктів – сукупність властивостей, які здатні забезпечувати потреби організму людини в енергії, поживних речовинах протягом терміну придатності та їх відповідність до вимог нормативних документів (ГОСТ, ДСТУ, ГСТУ, ТУУ).