ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ПІВОВАРОВ О.А., КОВАЛЬОВА О.С., КОШУЛЬКО В.С.

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБКИ М'ЯСА ТА ПРОДУКТІВ НА ЙОГО ОСНОВІ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

2025

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

ПІВОВАРОВ О.А., КОВАЛЬОВА О.С., КОШУЛЬКО В.С.

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБКИ М'ЯСА ТА ПРОДУКТІВ НА ЙОГО ОСНОВІ

Навчальний посібник

Дніпро 2025

УДК 664(075.8)
П 32
Рекомендовано до друку вченою радою ДДАЕУ
протокол № 3 від 28 листопада 2024 р.

Рецензенти:

Самойчук Кирило Олегович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.
Алієв Ельчин Бахтияр огли – доктор технічних наук, старший дослідник, професор, професор кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету.
Мацук Юлія Анатоліївна – кандидатка технічних наук, доцентка, доцентка кафедри харчових технологій Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні технології переробки м'яса та продуктів на його основі : Навчальний посібник. – Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2025. – 402 с.
ISBN 978-617-95219-1-1

Навчальний посібник присвячено висвітленню основних напрямів та перспектив з розвитку м'ясної промисловості, технології переробки м'яса, розумінню проблем у формуваннях переробної галузі та вмінню застосовувати зарубіжний досвід відповідної промисловості. Дозволяє ознайомитись з сучасними досягненнями і перспективними інноваційними напрямами та сучасними технологічними процесами переробки м'яса та продуктів на його основі з виготовленням різноманітних видів харчової та технологічної продукції.

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю 181 Харчові технології першого (бакалаврського) і другого (магістерського) рівнів вищої освіти, а також для наукових працівників, аспірантів і фахівців, які цікавляться проблемами інноваційного інжинірингу харчових виробництв.

ISBN 978-617-95219-1-1
©Півоваров О.А., Ковальова О.С. Кошулько В.С.

ЗМІСТ

Стор.
ВСТУП…… 8
Розділ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ М'ЯСА ЗА ВИДОМ, СТАТТЮ, ВІКОМ, ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ОБРОБКОЮ…… 10
1.1. Загальна класифікація корисного для споживання м'яса …….….. 10
1.2. Класифікація м'яса за виглядом, статтю, віком та по вгодованості тварин…….. 14
1.3. Класифікація м'яса за термічним станом та харчовим призначенням..... 16
Питання для самоконтролю……. 17
Рекомендована навчальна література…… 18
Розділ 2. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ М'ЯСА НА ОСНОВІ НЕРУЙНІВНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ……. 19
2.1. Найбільш поширені інноваційні методи визначення якості м'яса ……..... 19
2.2. Методи неруйнівного виявлення м'яса ……..….. 21
2.2.1. Система комп'ютерного зору …….. 21
2.2.2. Техніка ближньої інфрачервоної спектроскопії ……... 23
2.2.3. Техніка гіперспектрального зображення …….. 25
2.2.4. Техніка раманівських спектрів …….. 28
2.2.5. Техніка ультразвукової візуалізації ……...… 30
2.2.6. Техніка електронного датчика носа/язика …… 32
2.2.7. Інші методи визначення якості м'яса ……. 33
Питання для самоконтролю……..… 41
Рекомендована навчальна література……. 42
Розділ 3. ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ М'ЯСА І М'ЯСОПРОДУКТІВ ……...…….. 43
3.1. Заморожування …… 43
3.2. Ударне та гідрофлюїдизаційне заморожування ……...… 44
3.3. Заморожування за допомогою високого тиску ……...…. 45
3.4. Ультразвукове заморожування та заморожування за допомогою магнітного резонансу …….... 46
3.5. Електростатичне заморожування……...…… 47
3.6. Заморожування за допомогою мікрохвиль ……. 49
3.7. Радіочастотне заморожування ……...… 51
3.8. Приклади технологічного обладнання для заморожування м'яса та м'ясопродуктів……. 55
Питання для самоконтролю……. 61
Рекомендована навчальна література……. 62
Розділ 4. ОБРОБКА М'ЯСА ПІД ВИСОКИМ ТИСКОМ ……..... 63
4.1. Молекулярні впливи та промислове застосування …… 63
4.2. Вплив НРР на мікроорганізми …….. 65

4.3. Механізм мікробної інактивації 67
4.4. Вплив НРР на білки 69
4.5. Вплив НРР на колір 70
4.6. Вплив рівня тиску та температури 72
4.7. Вплив НРР на хімічний стан міоглобіну 73
4.8. Ефект затвердіння 73
4.9. Вплив НРР на окислення ліпідів і білків 74
4.10. Окиснення білків у м'ясі під тиском 76
4.11. Зв'язок між окисленням ліпідів і білків у м'ясі під тиском 77
4.12. Холодна пастеризація для забезпечення безпеки та продовження терміну зберігання 79
4.13. Поєднання НРР з іншими бар'єрами 81
4.14. Протимікробні засоби 82
4.15. Бактеріофаги 85
4.16. Кухонна сіль 86
4.17. Вплив НРР на структуру м'яса, що призводить до розм'якшення 88
4.18. Умови обробки, необхідні для досягнення тендеризації 93
4.19. Формування структури обробленого м'яса 95
4.20. Приклади технологічного обладнання для обробки м'яса під високим тиском 98
Питання для самоконтролю 100
Рекомендована навчальна література 101
Розділ 5. ОПРОМІНЕННЯ М'ЯСА: ПЛИВ НА ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКУ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ 102
5.1. Форми опромінення 102
5.2. Спосіб дії 105
5.3. Переваги та недоліки опромінення 107
5.4. Джерела та принципи опромінення харчових продуктів 113
5.5. Вплив опромінення на м'ясо. Мікробна безпека 114
5.6. Хімічні властивості 117
5.7. Фізичні властивості 119
5.8. Подовження терміну зберігання 121
5.9. Харчова якість 122
5.10. Сенсорні властивості 125
5.11. Нормативно-правова база щодо опромінення харчових продуктів 126
5.12. Інноваційне застосування технології холодної плазми з метою обробки м'ясі та продуктах з нього 130
5.12.1. Фактори, що впливають на ефективність холодної плазми 130
5.12.2. Застосування холодної плазми в м'ясній промисловості 135
5.12.3. Вплив холодної плазми на фізико-хімічні та сенсорні показники 138
5.12.4. Використання антисептичного льоду з плазмохімічно активованих водних розчинів при зберіганні м'ясної сировини 143
Питання для самоконтролю 157
Рекомендована навчальна література 157

Розділ 6. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ М'ЯСА УДАРНОЮ ХВИЛЕЮ, УЛЬТРАЗВУКОМ ТА ІМПУЛЬСНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОЛЯМИ 159
6.1. Ударна хвиля як механічний імпульс тиску і її застосування для обробки м'яса і продуктів на його основі 159
6.2. Обробка м'яса та м'ясопродуктів ультразвуком високої інтенсивності... 163
6.2.1. Застосування ультразвуку низької та високої інтенсивності для обробки м'яса 163
6.2.2. Окислення ліпідів 167
6.2.3. Окиснення білків 168
6.2.4. Гідрофобність поверхні білка 170
6.3. Застосування імпульсних електричних полів для обробки м'яса 172
6.3.1. Застосування імпульсних електричних полів для покращення якості м'яса 172
6.3.2. Втрата крапель, варіння та розморожування 176
6.3.3. Функціональність і поживність 179
6.3.4. Текстура 181
6.3.5. Колір 183
6.3.6. Сенсорна якість 185
6.3.7. Стійкість 186
Питання для самоконтролю 190
Рекомендована навчальна література 191
Розділ 7. РОБОТОТЕХНІКА ТА СЕНСОРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПЕРЕРОБЦІ ЧЕРВОНОГО М'ЯСА 192
7.1. П'ять причин для інновацій у роботизації м'ясної промисловості 192
7.2. Роботизовані технології у переробці червоного м'яса 193
7.3. Технології рентгенівського, ультразвукового та оптичного зондування 206
7.4. Тактильне відчуття та допоміжні технології 208
7.5. Роботизована технологічна лінія бійні 214
7.5.1. Система розрізання свинячих туш 214
7.5.2. Система нарізки туші 216
7.5.3. Система різання голови та щелепи 217
7.5.4. Контроль кишечника 218
7.6. Система автоматичного розподілу 219
7.7. Автоматизована система первинного різання та обвалки 220
7.8. Обвалювання та жилування м'яса 222
7.9. Осередок м'ясокомбінату (MFC) 226
7.10. Роботизовані техніки для бійнь. Робототехнічні захвати та конструкції кінцевих ефекторів 228
7.11. Гігієна та санітарія 229
7.12. Оптимізація зондування 232
7.13. Калібрування робота 233

7.14. Приклади застосування роботів у м'ясному виробництві
Роботизований тример для живота 234
Питання для самоконтролю..... 241
Рекомендована навчальна література..... 242
Розділ 8. МОЖЛИВОСТІ АДДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У М'ЯСНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ 244
8.1. Тривимірний друк (3D-друк) 244
8.2. Переваги м'яса, надрукованого на 3D-принтері 247
8.3. Ключові етапи створення м'яса на 3D-принтері 248
8.4. Закони про харчові продукти для м'яса, надрукованого на 3D-принтері 250
8.5. Майбутнє їжі – дивовижне м'ясо, вирощені в лабораторії та надруковані на 3D-принтері 251
8.6. Вирощене в лабораторії м'ясо 254
8.7. Розумна їжа 255
Питання для самоконтролю..... 255
Рекомендована навчальна література..... 256
Розділ 9. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОНСЕРВУВАННЯ МЯСА ТА ПРОДУКТІВ НА ЙОГО ОСНОВІ 257
9.1. Класифікація консервів за pH 257
9.2. Функціональні інгредієнти в м'ясоконсервній промисловості 259
9.3. Сухе дозрівання 272
9.4. Сухе затвердіння 273
9.5. Нові технології приготування: довготривале при низькій температурі (LTLT) і приготування Sous Vide 275
9.6. Ферментація 277
9.7. Засолювання 280
9.8. Переформулювання 283
9.9. Ферменти, що використовуються для розм'якшення м'яса 287
9.10. Харчові добавки 288
9.11. Ефірні олії, спеції та рослинні екстракти 290
Питання для самоконтролю..... 292
Рекомендована навчальна література..... 292
Розділ 10. ПРОМИСЛОВІСТЬ ШТУЧНОГО М'ЯСА: МЕТОДОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА, ВИКЛИКИ ТА МАЙБУТНЄ 294
10.1. Аналоги рослинного м'яса 294
10.2. Класифікація штучного м'яса 296
10.3. Замінники м'яса, отримані з рослинних джерел 297
10.4. Інноваційні технології масового виробництва аналогів рослинного м'яса 301
10.5. Виробництво культивованого м'яса 302
10.6. Технології виробництва м'яса in vitro. Техніка риштування 303
10.7. Культуральні середовища та фактори росту 304
10.8. Біореактор 305

10.9. Техніка самоорганізації 306
10.10. 3D/4D орган або біодрук, біофотоніка і нанотехнології 307
10.11. Генетично модифіковані організми та клоновані тварини 309
10.12. Харчова цінність 310
10.13. Виробничі витрати та розмір ринку. Регуляторні шляхи та перспективи 310
Питання для самоконтролю 316
Рекомендована навчальна література 317
Розділ 11. ІННОВАЦІЇ В ПАКУВАННІ М'ЯСА ТА М'ЯСОПРОДУКТІВ 318
11.1. Методи пакування та пакувальні матеріали 318
11.2. Природні полімери в харчовій упаковці 321
11.3. Електропрядіння 325
11.4. Антиоксидантні та антимікробні сполуки 330
11.5. Мікрокапсуляція 333
11.6. Техніка мікрокапсуляції 340
11.6.1. Сушіння розпиленням 340
11.6.2. Охолодження спреєм 341
11.6.3. Коацервація 341
11.6.4. Покриття з киплячим шаром. Екструзія. Емульгування. Включення циклодекстрину 343
11.6.5. Розмір частинок і морфологія мікрокапсул. Пористість. Гідрофобність поверхні 345
11.6.6. Властивості текучості. Мікромеханічні властивості. Теплові властивості. Функціональні властивості 347
11.7. Застосування мікрокапсуляції щодо харчової промисловості 355
11.8. Приклади інноваційного пакувального обладнання 356
Питання для самоконтролю 373
Рекомендована навчальна література 374
Розділ 12. СПОЖИВАННЯ М'ЯСА, ЗДОРОВ'Я ТА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ 375
12.1. Нинішнє та майбутнє споживання м'яса 375
12.2. Драйвери споживання м'яса 380
12.3. Вплив на здоров'я 382
12.4. Вплив на навколишнє середовище 386
12.5. Зміна дієт 390
Питання для самоконтролю 394
Рекомендована навчальна література 395
ВИСНОВКИ 396
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА 399

ВСТУП

За останні роки світ збагатився новими сучасними технологіями і обладнанням, які пов'язані з переробкою м'яса, розуміючи, що нагодувати безперервно зростаюче населення землі без інноваційних технологій у м'ясній галузі неможливо. З іншого боку виникає захоплення від багатства на харчову м'ясну сировину, освоєння якої стає потребою часу. Цей навчальний посібник надає достатнє уявлення відносно того, з якими проблемами стикаються виробники м'ясної промисловості у технологічному та технічному сенсі, коли мова йдеться про ефективну переробку тваринницької сировини з урахуванням усіх сучасних вимог до виробництва, а їх велика безліч. Але головний орієнтир спрямовано, безумовно, на споживача, який завжди бажає купувати якісну і корисну харчову продукцію, виготовлену із застосуванням сучасних інноваційних технологій і обладнання. В посібнику зібрано відомості саме про такі інноваційні підходи, які, безумовно, сприяють досягненню якості і високих смакових характеристик кінцевої продукції, про що свідчить споживчий ринок.

Посібник надає інформацію щодо досягнення якості м'ясної продукції за рахунок застосування сучасних методів обробки сировини теплом і холодом, випромінюванням, високим тиском і різноманітними фізичними, фізико-хімічними методами, шляхом використання природних матеріалів, здатних впливати на якість продукту і його купівельну спроможність. Ці та ще такі, що тільки позначені наукою заходи працюють на перспективу, майбутнє у просторі освоєння багатого тваринницького середовища. Посібник надає уявлення щодо переробки м'ясної сировини, спроби створити і виготовити синтетичні замінники окремих видів м'яса за рахунок рослинної та іншої корисної, але не м'ясної сировини. Окремі види сучасного технологічного обладнання, надають змогу читачеві познайомитись з новітніми конструкційними рішеннями в переробній галузі, компаніями, які сьогодні присутні на ринку і завдяки яким створення і виробництво сучасного обладнання прогресує і дивує оригінальними рішеннями, які забезпечують високу якість продукції, енергозбереження та

екологічність. Такий підхід має на меті ініціювати у читачів, будь то студенти, аспіранти, науковці або виробники, бажання творчо підходити до створення новітнього технологічного обладнання не тільки в м'ясній галузі, але і в будь-яких інших харчових виробництвах.

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю 181 Харчові технології, першого (бакалаврського) і другого (магістерського) рівнів вищої освіти. Він може бути корисним в процесі вивчення дисциплін «Інноваційний інжиніринг харчових виробництв» і «Технології молочних, м'ясних та рибних продуктів», також доцільно користуватись ним для роботи на аудиторних заняттях та для самостійної підготовки здобувачів денної і заочної форм навчання. Крім того, його доцільно використовувати для наукових працівників, аспірантів і фахівців, які цікавляться проблемами інноваційного інжинірингу харчових виробництв.

Розділ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ М'ЯСА ЗА ВИДОМ, СТАТТЮ, ВІКОМ, ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

1.1. Загальна класифікація корисного для споживання м'яса

У староанглійській мові слово «м'ясо» («mete») було загальним терміном для позначення їжі. Сьогодні визначення м'яса найчастіше відноситься до їстівного м'яса тварини, хоча також можна використовувати його, коли маємо на увазі їстівну частину рослини, як-от м'ясо кокоса чи горіха. М'ясна промисловість є однією з найбільших у світі, а за даними Міністерства сільського господарства США, Сполучені Штати є найбільшим виробником яловичини.

М'ясо – це комплекс м'язової, жирової, сполучної, кісткової тканин, кількісне співвідношення яких, перш за все, визначає якість м'яса. М'ясо різних тварин характеризується відповідними поживними властивостями і відрізняється за органолептичними показниками, морфологічним і хімічним складом.

Червоне м'ясо: уся худоба вважається червоним м'ясом. Це включає яловичину, свинину, козлятину та баранину.

Червоне м'ясо – це широкий термін, який зазвичай відноситься до м'яса, отриманого від ссавців. Класифікація червоного м'яса базується на його кольорі через більш високий рівень білка міоглобіну в цьому м'ясі порівняно з птицею та рибою. Міоглобін - це білок, який допомагає транспортувати кисень до м'язових клітин, і він відповідає за червоний або темний колір м'яса.

Ось кілька поширених видів червоного м'яса:

Яловичина. Це один з найпоширеніших видів червоного м'яса великої рогатої худоби. Він включає різні форми, такі як стейк, ростбіф і яловичий фарш. Яловичина має високий вміст білка та незамінних поживних речовин, таких як залізо та вітамін B12.

Свинина. Незважаючи на рекламний слоган, який рекламує її як «інше біле м'ясо», свинина класифікується як червоне м'ясо. Воно походить від свиней і включає такі шматки, як свинячі відбивні, свиняча корейка та шинка.

Ягнятина. Баранина. Ягнятина походить від молодих овець віком до рока, а баранина – це м’ясо старших овець. Обидва вони вважаються червоним м’ясом.

Телятина. Телятина - це м'ясо молодняку великої рогатої худоби, як правило, телят, які годуються молоком. Зазвичай воно світліше за колір, ніж яловичина, але все одно відноситься до червоного м’яса через вміст міоглобіну.

Коза. Хоча в деяких частинах світу козяче м’ясо споживають не так часто, в інших його вживають у їжу та класифікують як червоне м’ясо.

Гра М'ясо. До них відноситься м’ясо таких тварин, як олень (оленина), лось і бізон. Оскільки вони є ссавцями, їхнє м’ясо класифікується як червоне.

Оброблене м'ясо. Оброблене м’ясо, виготовлене з м’яса ссавців, наприклад ковбаси, салямі та деякі хот-доги, також вважається червоним м’ясом.

Хоча червоне м’ясо може бути цінним джерелом таких поживних речовин, як білок, залізо та вітамін B_{12}, воно також містить більше насичених жирів, ніж м’ясо птиці та риби.

Біле м’ясо, як правило, характеризується більш світлим кольором до і після приготування порівняно з червоним м’ясом. Ця різниця в кольорі насамперед пов’язана з низьким рівнем міоглобіну, білка, відповідального за червоний колір певного м’яса. Біле м’ясо зазвичай містить менше жиру та калорій, ніж червоне м’ясо, що робить його популярним вибором для тих, хто шукає пісні джерела білка.

Птиця. Найпоширенішим видом білого м'яса є птиця. Це включає в себе курку, індичку та качку. Курка та індичка, зокрема, відомі своїми нежирними шматками, особливо грудкою. У них багато білка та мало жиру, що робить їх здоровим вибором для багатьох дієт.

Кролик. Хоча м’ясо кролика не так широко споживається в деяких країнах, воно також вважається різновидом білого м’яса. У ньому мало жиру та багато білка.

Риба. Рибу часто класифікують як біле м’ясо через її колір і, як правило, світліший смак і консистенцію порівняно з червоним м’ясом. Деякі, такі як

тріска, пікша та тілапія, потрапляють у цю категорію. У цих видах риби мало жиру і багато білка.

Морепродукти. Інші види морепродуктів, включаючи молюсків, таких як креветки, краби та омари, також вважаються білим м'ясом. Ці продукти багаті нежирним білком і містять різноманітні поживні речовини.

Свинина. Існує деяка дискусія про те, чи слід класифікувати свинину як червоне чи біле м'ясо. Хоча науково віднесено до категорії червоного м'яса через вміст міоглобіну, його часто продають як «інше біле м'ясо» через його світлий колір під час варіння. Однак важливо зазначити, що свинина містить більше жиру, ніж птиця та риба, і таким чином вона більше схожа на інше червоне м'ясо.

Кожен вид білого м'яса має унікальний харчовий профіль. Птиця, риба та інші морепродукти є чудовими джерелами нежирного білка та різноманітних основних поживних речовин, що робить їх здоровим вибором для більшості дієт. Однак, як і будь-яку їжу, їх слід вживати як частину збалансованої дієти.

Як і більшість речей, м'ясо стає нездоровим, якщо його їсти занадто багато. Доведено, що червоне м'ясо є особливо небезпечним, коли мова йде про такі речі, як серцеві захворювання та рак, але тваринний білок має багато переваг, якщо споживати його в невеликих кількостях. Його головною перевагою є, звичайно, білок разом із запасами незамінних амінокислот і колагену. Більшість м'яса містить велику кількість вітаміну B_{12}, B_6, K, а також цинку та заліза. Залежно від тварини та способу її вирощування вміст жиру змінюється, але є відносно низьким. Щасливі, підтягнуті тварини мають струнку та ніжнішу м'язову тканину.

Існують інші фактори, які впливають на ті, чи різні види м'яса корисні для споживання, чи становлять ризик для здоров'я. Надмірно оброблені м'ясні продукти можуть бути сповнені нездорових хімікатів і консервантів. Яловичина, яку годують травою, завжди корисніша за яловичину, яку годують зерном. Кожен тип м'яса та продуктів тваринного походження має внутрішню температуру, яку воно має досягти наприкінці приготування, щоб відповідати

стандартам безпечності харчових продуктів, оскільки вживання сирого м’яса може бути дуже небезпечним.

Типовий склад м'яса:

- *Білок* – м’язи містять від 15 до 20 відсотків білка. Нежирне м'ясо містить від 20 до 22 % білків.
- *Жир* – жирність м'яса коливається від 5 до 40 %.
- *Вуглеводи* – глікоген (полісахарид тваринного походження) і глюкоза.
- *Вода* – Приблизно від 70 до 75 % м’язів м’яса складається з води.
- *Вітамін* – вітамін A, D, E і K.
- *Мінерали* – це хороше джерело фосфору, заліза та міді.
- *Пігменти* – міоглобін (переносник кисню в м'язах) і гемоглобін.

М'ясо цінується як повноцінна білкова їжа, що містить усі необхідні організму людини амінокислоти. Жир у м’ясі, який сильно відрізняється залежно від виду , якості та нарізки, є цінним джерелом енергії, а також впливає на смак, соковитість і ніжність пісного м’яса. Такі частини, як печінка, нирки, серце та інші частини, є чудовими джерелами вітамінів і необхідних мінералів, які легко засвоюються організмом людини. М'ясо перетравлюється трохи повільно, але засвоюється 95 відсотків м'ясного білка і 96 відсотків жиру. Жири, як правило, уповільнюють перетравлення іншої їжі; Таким чином, м’ясо з розумною часткою жиру залишається довше в шлунку, затримуючи почуття голоду та даючи «витривалість». Екстрактивні речовини м'яса викликають виділення слини і шлункового соку, викликаючи бажання поїсти і забезпечуючи легкість травлення.

М'ясо, яке випускається з боєнських підприємств, має відповідати певним вимогам, передбаченим державними стандартами. У стандартах зазначено:

1) технічні умови;

2) правила приймання та методи випробування;

3) маркування, транспортування та зберігання.

Якщо м'ясо не відповідає вимогам стандарту, воно не може бути реалізовано в торговельній мережі. Класифікацію м'яса проводять залежно від

виду, статі, віку, вгодованості тварин, термічної обробки та харчового призначення.

Розуміння класифікації м’яса та того, на що звертають увагу бійні під час класифікації м’яса, є важливим для підприємства. Це пояснюється тим, пропонується важлива інформація про конкретні види тварин, які найкраще відповідають вимогам споживачів, а також заохочує виробників покращувати продуктивність худоби для досягнення оптимальних цін.

1.2. Класифікація м'яса за виглядом, статтю, віком та по вгодованості тварин

Класифікація м'яса за виглядом

М'ясо поділяють на яловичину (від старослов'янського слова «яловичо» – бик, корова), баранину, свинину, конину, оленину, козлятину, буйволятину, верблюжатину, ведмежатину, м'ясо яка, м'ясо дикого кабана, лосятину та ін. М'ясо великих тварин випускають у напівтушах та четвертинах, свиней – у тушах та напівтушах, а дрібної рогатої худоби – цілими тушами.

Класифікація м'яса за статтю тварин

М'ясо дорослих тварин поділяють на три групи: м'ясо самок, м'ясо кастрованих індивідуумів (віл (кастрований самець великої рогатої худоби), борів (кастрований хряк або кабан), валух (кастрований баран), козел-кастрат, мерин (кастрований жеребець), каплун (кастрований півень, якого відгодовують на м'ясо)) і м'ясо некастрованих індивідуумів (бик, кнур, баран, козел). До м'яса, що відповідає вимогам стандарту, відносять туші самок та кастрованих самців, якщо вони відповідають технічним умовам за іншими показниками.

Класифікація м'яса за віком тварин

М'ясо різних вікових груп забійних тварин прийнято поділяти на м'ясо молочників, м'ясо молодняку та м'ясо дорослих тварин. До м'яса молочників відносять: туші телят, буйволят віком від 14 діб до 3 місяців; туші верблюжат віком від 14 діб до 2 років; ягнят, оленят – від 14 діб до 4 місяців; поросят живою масою 2–6 кг; козенят – від 14 діб до появи першої пари постійних різців; лошат, ослят – від 14 діб до 1 року.

До м'яса молодняку відносяться: велика рогата худоба – телиці, нетілі, бички та бички-кастрати у віці від 3 місяців до прорізування третьої пари постійних різців; буйволи незалежно від статі, віком від 3 місяців до 3 років; які незалежно від статі віком від 3 місяців до 3 років; вівці незалежно від статі, не відібрані від матки, віком від 14 днів до 4 місяців, яскраві, баранчики, валушки, що мають не більше однієї пари постійних різців; молоді кози (самці кастровані та некастровані; самки, які не мали окотів і не мають ознак вагітності) до появи другої пари постійних різців; свині – молода самка або кастрований самець із живою вагою від 20 до 59 кг; коні (самці і не жеребовані і не мають ознак жеребки самки) віком від 1 до 3 років; віслюки (самці кастровані та некастровані; самки, що не лошаться і не мають ознак жеребності) у віці від 1 року до 3 років; верблюди, незалежно від статі, віком від 2 до 4 років; олені північні незалежно від статі, віком від 4 місяців до 2 років. До м'яса дорослих тварин відносяться: велика рогата худоба – корови, бики та воли, що мають більше 2 пар постійних різців; буйвол, буйволиця або буйвол-кастрат у віці старше 3 років, які віком від 3 років; баран, валун, вівцематка, що мають не менше 2 пар постійних різців; козел, коза та козел-кастрат, що мають не менше 2 пар постійних різців; свиноматка, кнур або борів із живою вагою понад 59 кг; жеребець, кобила або мерин старше 3 років; осел, ослиця або осел-кастрат старше 3 років; верблюд, верблюдиця або верблюд-кастрат віком від 4 років; олені північні – олень, важенка (самка північного оленя) або олень-кастрат у віці старше 2 років.

Туші свиней різних вікових груп у м'ясній промисловості поділяють за вагою: поросята-молочники – від 1,3 до 12 кг; молоді свині (підсвинки) – від 12 до 34 кг, дорослі свині – понад 34 кг. М'ясо молочників до 14 днів для використання для харчових цілей не допускають внаслідок великого вмісту води.

Класифікація м'яса по вгодованості тварин

Класифікація м'яса по вгодованості тварин заснована на обліку ступеня розвитку мускулатури, конфігурації туш (округлість або незграбність) та поширеності жирових відкладень. Яловичину дорослої худоби, молодняку, а

також баранину та козлятину поділяють на 1-у та 2-у категорії. У стандарті описані нижчі межі, яким має відповідати м'ясо цих категорій.

1.3. Класифікація м'яса за термічним станом та харчовим призначенням

Класифікація м'яса за термічним станом

По термічному стану м'ясо поділяють на три категорії: остигле, тобто охолоджене при температурі навколишнього середовища протягом не менше 6 годин; І охолоджене, тобто піддане витримці в охолоджувальних камерах, і при температурі, що набула в товщі м'язової тканини (у кісток) від 0 до +4°С; таке м'ясо має з поверхні скоринку підсихання; морозиво, тобто заморожування до температури в товщі м'язової тканини (у кісток) не вище -6°С. Крім цих категорій м'ясо за термічним станом може бути парним, підмороженим, дефростованим, відтанутим.

Парним називають м'ясо щойно вбитої тварини, що зберегло теплоту тіла. Парне м'ясо з підприємств не випускають, оскільки воно може швидко набути небажаних ознак. Випуск м'яса допускають через 6 годин після обробки туші; до цього часу м'ясо охолоджується до температури навколишнього повітря і набуває кислої реакції.

Підмороженим називають таке м'ясо, що у товщі м'язової тканини має температуру -1 – -6°С. Така температура може бути в м'ясі спочатку замороженому, але потім частково від танув при перевезеннях. При надходженні підмороженого м'яса холодильники його заморожують – доводять температуру в глибині м'язів до -6°С. Дефростованим називається м'ясо, розморожене у спеціальних камерах (дефростерах) до температури товщі м'язів від 1 до 4°С. Відтаянним, на відміну дефростованого, називають м'ясо, розморожене у звичайних умовах. Харчова цінність такого м'яса є нижчою, ніж дефростйроване, оскільки розморожене м'ясо втрачає частину м'ясного соку і ослизняється з поверхні.

Класифікація м'яса за харчовим призначенням

Відповідно до харчового призначення м'ясо поділяють на дві категорії: столове та таке, що підлягає промисловій переробці. До столового відносять м'ясо, що відповідає технічним умовам, зазначеним у стандарті. Його випускають у торговельну мережу або для підприємств комунального харчування. М'ясо, що підлягає промисловій переробці, використовують для вироблення ковбасних виробів або напівфабрикатів. Воно придатне для харчових цілей, але не відповідає нормативам, передбаченим стандартом. До цієї категорії відносять м'ясо худе, бугаїв, кнурів та диких свиней, а також м'ясо із зачистками та зривами підшкірного жиру (для баранини, козлятини та свинини понад 10% поверхні туші, для яловичини понад 15%) та м'ясо зі зміненим кольором від неодноразового заморожування: туші великої та дрібної рогатої худоби з темним кольором в області шиї та туші свиней з потемнілим шпиком. М'ясо зі значними зачистками або зривами підшкірного жиру, а також м'ясо великої та дрібної рогатої худоби із зміненим кольором у ділянці шиї допускається до використання на підприємствах громадського харчування.

Питання для самоконтролю

1. Які види худоби відносять до червоного м’яса ?
2. Які види худоби відносять до білого м’яса?
3. У чому полягає різниця між червоним та білим м’ясом?
4. Які фактори впливають на корисність м’яса для споживання, а які становлять ризик для здоров’я?
5. З яких компонентів складається м’ясо?
6. Яку роль відіграють жири у споживчому м’ясі?
7. У чому полягає класифікація м'яса за виглядом тварин?
8. На які три групи поділяють м'ясо дорослих тварин?
9. Чи впливає вік тварин на якість споживчого м’яса?
10. Що таке парне і підморожене м’ясо?
11. На які категорії поділяють м'ясо харчового призначення?

Рекомендована навчальна література

1. Сирохман І., Лозова Т. Товарознавство м'яса і м'ясних товарів. 2-ге видання. Київ: Центр учбової літератури, 2017. 378 с.
2. Янчева М., Пешук Л., Дроменко О. Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса і м'ясних продуктів. К.: Центр навчальної літератури, 2017. 304 с.
3. Маньковський А. Я. Технологія продуктів забою тварин : підручник / А. Я. Маньковський, Т. А. Антонюк. К. : Агроосвіта, 2014. 336 с.
4. Пешук, Л. В. Основи тваринництва і ветеринарно-санітарної експертизи м'яса та м'ясних продуктів : підручник / Л. В. Пешук ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : Центр навч. літ-ри, 2011. 400 с.
5. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.

Розділ 2. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ М'ЯСА НА ОСНОВІ НЕРУЙНІВНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

2.1. Найбільш поширені інноваційні методи визначення якості м’яса

Збільшення попиту на м’ясо як з точки зору якості, так і кількості в поєднанні з потребами зростаючого населення призвело до того, що регулюючі органи ввели суворі вказівки щодо якості та безпеки м’яса. Об’єктивні та точні швидкі методи неруйнівного виявлення та методи оцінки якості м’яса, засновані на штучному інтелекті, стали гарячою точкою досліджень в останні роки та широко застосовуються в м’ясній промисловості. М'ясо є основним джерелом білка і має велике фізіологічне значення для людини. Споживання м’яса (яловичини, птиці, свинини та баранини) продовжує зростати з кожним роком у всьому світі. Згідно зі звітом Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), очікується, що до 2024 року середнє споживання м’яса на людину зросте до 35,5 кг у всьому світі. Зі зростанням споживання м’яса якість стає все більш важливою для рішення споживача про його придбання. Дослідження показують, що якість м’яса є найважливішим показником, який впливає на рішення споживача.

Оцінка якості м’яса має два основні методи вимірювання, суб’єктивний і об’єктивний. Суб'єктивні методи оцінки якості м'яса зазвичай залежать від сенсорної оцінки, яка включає візуальний досвід і досвід їжі (смакові показники). Недоліком суб’єктивних методів оцінювання є те, що вони сильно залежать від конкретного досвіду оцінювачів, погана повторюваність і можуть бути важко кількісно оцінені. Історично об’єктивними методами оцінки були лабораторні тести для оцінки фізичних і хімічних властивостей м’яса та мікроорганізмів, присутніх у м’ясі. Це дає точні результати, але м’ясний продукт стає пошкодженим або знищеним, а сама процедура виявлення як показує практика громіздка. За своєю суттю метод об’єктивної оцінки є трудомістким і дорогим, що призводить до труднощів щодо задоволення вимог автоматизованої

обробки для сучасних компаній з виробництва м’яса. Країни в усьому світі терміново потребують швидкої, точної та неруйнівної онлайн-технології виявлення для послідовної оцінки м’яса з метою сприяння здоровому та стабільному розвитку харчової безпеки та якості.

Технологія штучного інтелекту (AI – Artificial intelligence) є однією з найпопулярніших тем і стає невід’ємною частиною індустрій у всьому світі. Багато галузей нашого життя були пронизані технологіями штучного інтелекту, зокрема транспортні засоби з автопілотами, медицина, сільськогосподарська наука та харчова інженерія. Технологія штучного інтелекту стала важливою у застосуванні неруйнівного прогнозування якості м’яса, надаючи необхідну технічну підтримку для онлайн-класифікації та оцінки м’яса. У науці про харчові продукти технологія штучного інтелекту, яка поєднує датчики, процесори (комп’ютери) та інші компоненти, дозволяє проводити неруйнівну оцінку продуктів, у результаті чого зберігається оригінальна форма, стан і характер зразка. Ця технологія використовує механіку, оптику, акустику, електрику та іншу відповідну інформацію об’єкта вимірювання для оцінки фізичних характеристик, хімічного складу, структурних характеристик та інших даних, щоб досягти неруйнівної і точної оцінки якості їжі.

Останніми роками з підвищенням обізнаності людей про безпечність харчових продуктів і розвитком комп’ютерних технологій неруйнівна оцінка все ширше застосовується в області тестування якості м’яса, включаючи ультразвукове дослідження. На даний момент вчені в усьому світі провели багато поглиблених досліджень щодо застосування технології штучного інтелекту для тестування якості м’яса, наприклад сенсорної оцінки якості (свіжість м’яса, ніжність, колір і текстура). Прогнозування фізико-хімічних показників якості м’яса (pH м’яса, сила зсуву (SF – Shear Force), утримання води (WHC – Water-Holding Capacity), вміст вологи (MC – Moisture Content), білок] та аналіз сортів м’яса, механізми метаморфізму та ідентифікація фальсифікатів також були досить широко досліджені.

У цьому розділі представлено загальні технології штучного інтелекту, які використовуються останніми роками для неруйнівної оцінки якості м’яса, включаючи систему комп’ютерного бачення (CVS – Computer Vision System), спектроскопію ближнього інфрачервоного діапазону (NIR – Near-InfraRed), гіперспектральне зображення (HIS – Hypers Spectral Imaging), раманівську спектрометрію (RS – Raman Spectrometry), ультразвукове зображення, а також електронні технології носа або язика. Пояснюються принципові характеристики та статус застосування технологій штучного інтелекту для перевірки якості м’яса, сортування та оцінки. Вже сьогодні обговорюються поточні виклики та майбутні напрямки розвитку, щоб створити всеохоплюючу базу знань, включаючи важливу теоретичну основу та технічні посилання для технологій штучного інтелекту, які використовуються для покращення якості та безпеки їжі для людей.

2.2. Методи неруйнівного виявлення м'яса

Зі збільшенням занепокоєння та уваги споживачів, підприємств і державних відомств якість і безпека харчових продуктів безперервно і глибоко вивчаються протягом тривалого періоду вітчизняними та зарубіжними вченими харчової промисловості, а технологія неруйнівного виявлення якості м'яса досягла значного рівня. Зазвичай використовувані методи неруйнівного виявлення якості м’яса в основному зосереджені на CVS, NIR, HSI, RS, ультразвуковому моніторингу та електронних технологіях виявлення носа/язика.

2.2.1. Система комп'ютерного зору

Технологія комп’ютерного бачення, також відома як технологія машинного бачення, яка отримує інформацію про цільове зображення через датчики зображення, а не через очі людини, і застосовує комп’ютерну технологію для аналізу та обробки біонічного людського мозку для перетворення зображення в цифрову інформацію, а потім для ідентифікації, відстеження та виявлення цільових об’єктів.

Біоніка – використання біологічних методів і структур для розробки інженерних рішень та технологічних методів.

Звичайна система виявлення машинного зору показана на рис. 1, яка в основному включає комп'ютер, промислову камеру, систему освітлення та програмне забезпечення для обробки зображень.

Рис. 1. Типова система комп'ютерного зору для програм неруйнівної оцінки якості м'яса [1]

Завдяки швидкому розвитку комп'ютерних технологій, розвитку технологій обробки зображень і систем неруйнівного виявлення на основі машинного зору, які широко використовуються для виділення ознак на основі зображень і розпізнавання ознак, пов'язаних із визначенням якості м'яса, було розроблено CVS для об'єктивного вимірювання якості свинячої корейки. Були вилучені колірні особливості і мармурові візерунки в області інтересу на зображенні шматка м'яса. Згодом була розроблена модель прогнозування штучного інтелекту машина опорних векторів (SVM – Support Vector Machine) для визначення рівня кольору свинини та мармуровості з найвищою точністю прогнозування. Також було досліджено здатність CVS прогнозувати відсоток внутрішньом'язового свинячого жиру. Аналогічно застосовано вбудовану систему машинного зору на основі цифрової обробки сигналів для оцінки

свіжості яловичини. Результати показали ідеальну точність прогнозування (класифікація та ідентифікація 100%) з новими невідомими зразками.

Крім того, були спроби застосувати CVS для моніторингу дефектів м'яса. Визначено значний зв'язок між компонентами кольору з pH, що є показником для виявлення яловичини та встановлено ефективність CVS у вимірюванні кольору м'яса для виявлення дефектів м'яса Musculus *longissimus lumborum* (LL) у промислових умовах. Повідомлено, що CVS показав сильну перспективу класифікувати м'ясо за групами якості.

Musculus longissimus lumborum (лат) – довгий м'яз, який розташовується від крижів до основи черепа.

Літературні джерела показали, що поточні застосування CVS в інспекції якості м'яса використовують зовнішні ознаки, такі як особливості кольору або текстури, витягнуті із зображень, отриманих у видимій області спектру, і об'єднані стехіометричними методами для якісного або кількісного аналізу. Однак виявилося, що метод CVS не здатний виразити характеристики внутрішніх компонентів зразків м'яса. CVS в основному використовується для визначення зовнішніх властивостей, таких як колір м'яса, мармуровість, ніжність, свіжість і вміст жиру з одного боку. З іншого боку, CVS не в змозі виміряти внутрішні ознаки, такі як МС та вміст білка.

2.2.2. Техніка ближньої інфрачервоної спектроскопії

Спектроскопія в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR) – це хвилі електромагнітного випромінювання з діапазоном довжин 780–2526 нм між видимим і середнім інфрачервоним світлом і називається першою невидимою спектральною областю, виявленою в спектрі поглинання. І спектральні криві, які відображаються різними хімічними речовинами в ближньому інфрачервоному діапазоні, відрізняються. Таким чином, кореляція між вихідними спектральними даними зразків у повному діапазоні довжин хвиль і відповідними фізичними та хімічними значеннями індексу (функціональний зв'язок) може бути використана для аналізу (ідентифікації та кількісного визначення) хімічних речовин та їх

складових. У результаті можна зрозуміти, що на основі основних принципів NIR-спектроскопії та системи виявлення NIR, як показано на рис. 2, ступінь гниття під час зберігання м’яса та фізико-хімічні властивості і параметри (такі як вологість, білок, жир, утримання води, втрата соусу тощо) під час обробки можуть бути виявлені.

Псування і зниження свіжості м'яса тісно пов'язані з вмістом вологи, білка і жиру. NIR-спектроскопія може об’єктивно відобразити ці зміни органічних компонентів, таких як жир і білок у свіжому м’ясі. Було виявлено жир, білок і воду за допомогою спектроскопії пропускання у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні (Vis/NIR – Visible and NIR) в охолодженій свинині. З цією метою використовували Vis/NIR-спектроскопію для прогнозування показників якості свіжої свинини в режимі онлайн. Зроблено оцінку доцільність використання NIR-спектроскопії для прогнозування жирно-кислотного складу м’яса ягняти та продемонстровано точність прогнозних моделей шляхом аналізу та порівняння виміряного спектру відбиття м’яза LL Останніми роками вчені в усьому світі провели багато досліджень щодо визначення свіжості свіжого м’яса за допомогою методу спектроскопії Vis/NIR, зокрема, щоб передбачити загальний летючий основний азот (TVB-N – Total Volatile Basic Nitrogen) і мікроби як індикатори. Застосували спектроскопію Vis/NIR для кількісної оцінки TVB-N свинини. Продемонстровано величезний потенціал застосування спектроскопії Vis/NIR для аналізу свіжості свинини. Було використано NIR-спектроскопію (1100–2500 нм) для виявлення вмісту TVB-N у свинині та використали алгоритм часткових найменших квадратів інтервалу синергії (SIPLS – Synergy Interval Partial Least Squares) для побудови моделі калібрування вмісту TVB-N. Використано технологію NIR-HSI (900–1700 нм) для виявлення загальної життєздатності на поверхні охолодженої баранини, щоб визначити ступінь забруднення та розкладання м’яса.

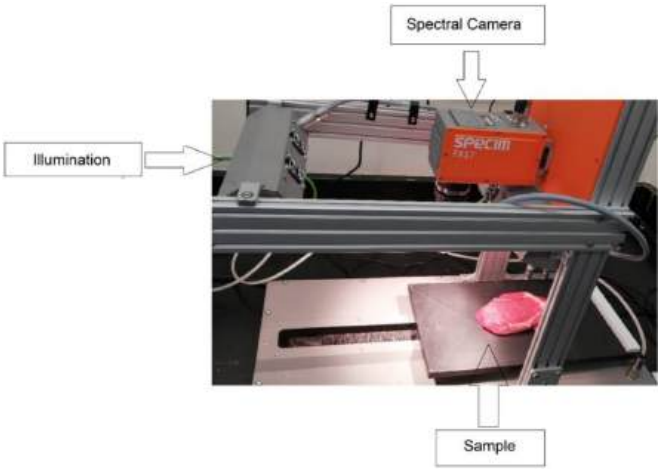


Рис. 2. Компоненти системи спектрального виявлення м’яса [1]

Як правило, спектральні дані є відображенням внутрішніх хімічних складових у зразках м’яса, які в основному використовуються для ідентифікації, розпізнавання та класифікації м’яса, ігноруючи при цьому вплив характеристик зовнішніх ознак на зміни якості м’яса. Точність прогнозування техніки NIR для прогнозування сенсорної якості м’яса недостатньо висока, що різко контрастує з технологією машинного зору.

Крім того, єдиний показник може описати лише один аспект характеристик змін якості м’яса, що є ще одним обмеженням цього методу. Таким чином, необхідно знайти інноваційну та передову технологію, яка може одночасно володіти технічними характеристиками NIR-спектроскопії та технології CVS, враховуючи характеристики внутрішніх компонентів та зовнішні атрибути зразків м’яса, а саме досягти визначення якості м’яса більш комплексним, точним, стабільним і стійким.

2.2.3. Техніка гіперспектрального зображення

Технологія HSI є похідною технікою спектрального виявлення на основі технології гіперспектрального дистанційного зондування. Спектральна смуга

HSI охоплює всі безперервні смуги в ультрафіолетовому, видимому, ближньому інфрачервоному, середньому інфрачервоному, далекому інфрачервоному та тепловому інфрачервоному областях. Технологія HSI – це нова технологія синтезу фотоелектричного детектування, яка швидко розвивається, яка поєднує технологію спектрального детектування з технологією цифрового комп'ютерного бачення (технологія двовимірного зображення) і сприяє інтеграції спектральна роздільна здатність і аналогічна здатність зображення. Спектральна інформація відображає внутрішні властивості (головним чином складові) зразків, а інформація зображення відображає зовнішні особливості. При отриманні зразка індекс складу зберігає свої вихідні фізичні та хімічні властивості, досягаючи швидкого, точного та неруйнівного виявлення зразків. Методи HSI можна розділити на методи HSI у видимому/ближньому інфрачервоному діапазоні (Vis-NIR-HSI: 400–1000 нм) та методи HSI у ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR-HSI: 900–1700 нм) відповідно до охопленого діапазону довжин хвиль електромагнітного випромінювання. Порівняно з NIR, методи HSI об'єднують спектроскопію ближнього інфрачервоного діапазону та технологію зображення високої роздільної здатності, яка може отримувати як спектральну інформацію, так і інформацію про зображення в реальному часі та одночасно.

Технічний принцип HSI полягає у використанні традиційної інтегрованої апаратної та програмної платформи двовимірного зображення та спектроскопії для отримання як просторової, так і спектральної інформації кожного пікселя об'єкта. Потім необхідно провести якісний і кількісний аналіз отриманих даних за допомогою стехіометрії, щоб відобразити комплексні властивості та характеристики об'єкта, що підлягає вимірюванню. HSI – це тривимірний куб даних, у якому спектральні зображення, що складаються із спектральних даних у сотнях послідовних смуг, розташовані в спектральному порядку, що називається гіперкубом або спектральним кубом (x , y , λ), як показано на рис. 3, де (x , y) – це значення координати x , y пікселя в двовимірному зображенні, а третій вимір – це значення координати λ довжини хвилі , яке представляє

одновимірний спектральний вимір. Якщо дивитися з одновимірного розміру (λ), HSI є двовимірним (x , y) зображенням (рис. 3a), а з двовимірного (x , y) HSI є смугою спектральних ліній (рис. 3b). Таким чином, інформацію про двовимірне зображення певної точки довжини хвилі зразка можна витягти з куба гіперспектральних даних, а також можна витягти значення поглинання певної точки або певної області зразка в кожній точці довжини хвилі, тобто це спектральна інформація в кожній точці зразків.

Загалом, метод HSI поєднує в собі переваги спектрального аналізу та технології обробки зображень і може швидко та без руйнування витягувати хімічний склад, фізичні властивості та інші відповідні показники зразків. Досліджено корисність методів HSI (400–1000 нм) для прогнозування кольору та pH солоної свинини. Визначено потенціал NIR-HSI у поєднанні з багатовимірним аналізом для прогнозування деяких якісних характеристик м’яса ягняти. Крім того, метод HSI широко використовується в галузі якості та безпеки харчових продуктів, неруйнівного контролю та має великий потенціал для розробки застосувань у виявленні та класифікації якості м’яса.

Досліджено гіперспектральну систему візуалізації в реальному часі в спектральному діапазоні 400–1000 нм для моніторингу змін МС у червоному м’ясі (яловичина, баранина та свинина) та оцінено потенційну технологію HSI для прогнозування вмісту гідроксипроліну в курячому м’ясі. Дослідження на основі технології HSI як методів неруйнівного виявлення для визначення якості м’яса в основному включають: оцінку показників безпеки, таких як поверхневе забруднення та TVC; оцінка сенсорних якостей, таких як свіжість, колір і pH; виявлення вмісту поживних речовин, таких як вологість м'яса, білок і жир; а також моніторинг у режимі реального часу переробки та класифікації якості м'яса.

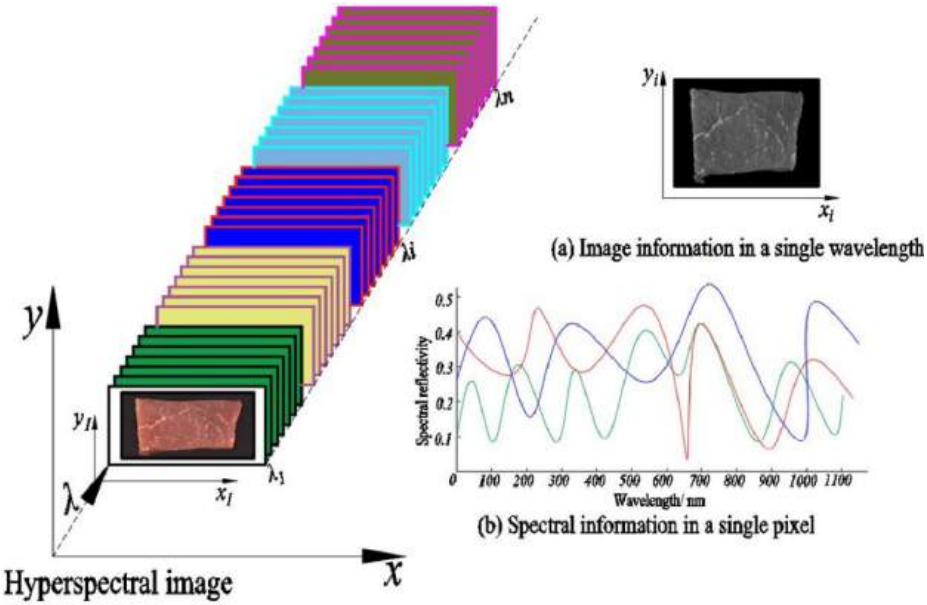


Рис. 3. Гіперкубна інформаційна діаграма гіперспектрального зображення для виявлення м'яса [1]

Загалом технологія HSI визнана однією з найбільш швидкозростаючих і широко використовуваних методик неруйнівного контролю якості та безпеки м'яса за останні роки.

2.2.4. Техніка раманівських спектрів

Раманівська спектроскопія – це метод спектрального аналізу, розроблений на основі ефекту комбінаційного розсіювання. Він генерується зміною поляризовності, викликаною вібрацією молекул зразка, і може надавати інформацію про вібрацію або обертання молекул. ***Кожна молекула функціональної групи в м'ясі має свій власний унікальний спектральний сигнал Рамана, який взаємно доповнює інфрачервоний спектр при аналізі молекулярної структури.*** Таким чином, репрезентативну інформацію в спектрі комбінаційного розсіювання м'яса можна отримати за допомогою хемометричного методу, можна якісно проаналізувати зв'язок між

молекулярною структурою та різними радикальними групами в м’ясі, а потім визначити та оцінити якість м’яса.

Останніми роками спектроскопія комбінаційного розсіювання все частіше використовується для визначення якості м’яса. Було використано портативний датчик комбінаційного розсіювання для прогнозування SF свіжої баранини і було встановлено, що модель прогнозування SF має високу точність. У подальшому застосували портативну систему раманівського моніторингу 671 нм для оцінки ніжності яловичини. Розроблений спектроскопічний метод комбінаційного розсіювання для оцінки та прогнозування сенсорних властивостей (ніжність, соковитість і жування) свіжої сирої свинячої корейки дозволив диференціювати та класифікувати свинячу корейку за оцінками якості («добре» та «погано» з точки зору м’якості та жувальної здатності) з точністю прогнозування >83% у порівнянні з результатами сенсорної панелі.

Крім того, можна виконати напівкількісний аналіз відповідно до пропорційного співвідношення між піковою інтенсивністю раманівського спектру та концентрацією вимірюваної речовини. Досліджено вплив концентрації NaCl на функціональні характеристики індукованого теплом гелеутворення свинячого міофібрилярного білка за допомогою текстурного аналізу та рамановської спектроскопії.

Міофібрила – органела клітин поперечносмугастих м'язів, що забезпечує скорочення м'язових волокон.

Результати показали очевидні зміни твердості та спектроскопії комбінаційного розсіювання гелю з підвищенням рівня NaCl. А також оцінено використання спектроскопії комбінаційного розсіювання для вивчення структурних змін, текстурних властивостей та їх зв’язків у поєднанні з аналізом профілю текстури та принциповим компонентним аналізом. У зв’язку з поглибленням науковцями досліджень спектроскопії комбінаційного розсіювання, застосування спектроскопії раманівського розсіювання у переробці та виробництві м’яса також поступово зростає. У подальшому застосували раманівську спектроскопію для дослідження впливу високого тиску (100–500

МПа) на хімічні сили та водоутримуючу здатність індукованого теплом гелю міофібрилярного білка та виявлено високу кореляцію між WHC м’яса та раманівським спектром. Виявлено, що область 1800–1900 см $^{-1}$ містить найкращу прогностичну інформацію, яка відповідає водоутримуючій здатності свинячого м’яса. Поширено застосування мобільної раманівської системи для вимірювання та прогнозування важливих характеристик якості м’яса в реальних умовах бійні за допомогою напівперетинчастих м’язів свині.

Крім того, хімічну структуру молекул функціональної групи можна виявити за допомогою раманівської спектроскопії, що визначає якість м’яса. Застосовано раманівську спектроскопію та хемометричний метод для швидкого визначення походження м’яса на основі зразків вилученого жиру. Обґрунтовані результати показали гарну відповідність між спектроскопічними параметрами та хімічним вмістом досліджуваних зразків, і були запропоновані аналітичні рівняння між цими параметрами.

Останнім часом застосування спектроскопії комбінаційного розсіювання в області виявлення м'яса стає все більш широким і всеосяжним і тому вивчення закону зміни якості в м’ясопереробці та оцінка механізму безпечності м’яса все ще є центром уваги та напрямком спектроскопії комбінаційного розсіювання у наукових дослідженнях м’яса та промисловому виробництві.

2.2.5. Техніка ультразвукової візуалізації

У практичному застосуванні ультразвук можна розділити на два типи, а саме потужні ультразвукові хвилі та ультразвукові хвилі виявлення. Ультразвук, створюваний потужним ультразвуковим генератором, має низьку частоту та високу енергію, який зазвичай використовується в харчовій промисловості, наприклад для стерилізації, розморожування, сушіння, фільтрації та гомогенізації. Ультразвук, створюваний ультразвуковим виявленням, має високу частоту та низьку енергію та зазвичай використовується для аналізу та визначення якості їжі. Ультразвукові методи визначення якості м’яса базуються

на аналізі змін акустичних характеристик для прогнозування складу м’яса, товщини м’язів, товщини жиру тощо. Швидке та неруйнівне виявлення та класифікація якості м’яса досягаються без зміни внутрішніх ознак м’яса. Було оцінено зміни швидкості ультразвуку для визначення складу м’ясної суміші. Жир, вологість і білок можна визначити шляхом вимірювання швидкості ультразвуку в сумішах за допомогою напівемпіричного рівняння. З цією метою використовували ультразвукову техніку візуалізації для визначення вмісту жиру в свинячій корейці шляхом аналізу ультразвукових зображень у B-режимі. Розроблено метод розпізнавання зображень із використанням нейронної мережі для точної оцінки кількості живої рогатої худоби за стандартом мармуру яловичини за допомогою ультразвукової ехо-візуалізації.

Досліджено доцільність використання технології ультразвуку низької інтенсивності для прогнозування вмісту солі в м’язах двоголового м’яза стегна (Biceps femoris) і довгого м’яза спини (Longissimus dorsi).

Зроблено оцінку використання ультразвукових вимірювань на живих тваринах для прогнозування складу туші, окосту, ваги передніх лап і виходу нежирного м’яса іберійських свиней. Усі результати показали високий коефіцієнт кореляції між виміряними та прогнозованими атрибутами.

Дослідження технології ультразвукового виявлення, що використовується в області неруйнівного контролю якості м'яса, почалися раніше. В основному воно використовувалося для визначення вмісту вологи, жиру, білка та інших компонентів м’яса, а також для онлайн-виявлення та класифікації свинячих туш. Існують деякі ультразвукові системи сортування туш для комерційного застосування за кордоном, такі як UltraFom 300 і AutoFom у Данії та CVT-2 у США. Однак ультразвукове виявлення чутливе до нерівностей перевіреного м’яса, нерівномірного розподілу жиру та нежирного м’яса, місця вимірювання, частоти ультразвуку тощо спричинить значні похибки вимірювання. В останні роки ультразвукова технологія в основному застосовувалася в харчовій промисловості, що відображається в стерилізації, маринуванні, розм’якшенні, розморожуванні, заморожуванні тощо м’яса, а також у використанні

ультразвукової екстракції компонентів у харчових продуктах, покращенні якість м’яса тощо.

2.2.6. Техніка електронного датчика носа/язика

Запах завжди був важливим показником оцінки якості м’яса, коли споживачі сприймали якість м’яса своїми органами чуття. Під час зберігання м’яса зі зменшенням свіжості білки, жири і вуглеводи будуть послідовно розкладатися під дією ферментів і бактерій, а отже, запах зіпсованого м’яса буде ставати все більш інтенсивним. За збігом обставин, електронний ніс – це свого роду газочутливий датчик, який чутливий до різних хімічних речовин і імітує нюхову функцію людського носа, також відому як штучний нюх. Це інтелектуальна система, яка може відчувати та ідентифікувати леткі гази, які використовуються для визначення запаху та оцінки ступеня псування.

Багато вчених у країні та за кордоном використовували технологію електронного носа, щоб виявити зміну запаху м’яса, щоб судити про свіжість м’яса та прогнозувати термін зберігання. Використано технологію електронного носа (E-nose) для виявлення змін у летких компонентах охолодженої свинини при різних температурах і періодах зберігання, щоб оцінити свіжість охолодженої свинини. Дослідники використовували E-nose для прогнозування якості охолодженої свинини. При цьому було обговорено доцільність розпізнавання фальсифікації м’яса на основі E-nose, який використовувався для аналізу м’яса яка, яловичини та свинини, і результати показали, що E-nose може розпізнавати м’ясо яка, яловичину та свинину, а також м’ясо яка. і зразки яловичини в різних місцях вирощування.

У той же час, оскільки м’ясо псується, цей стан змінює провідність і електронний язик (E-tongue), який є електронною схемою, яка використовується для вимірювання цієї провідності. E-tongue – це інтелектуальна система виявлення, що складається з масиву датчиків смаку та системи розпізнавання образів, яка може імітувати функцію смакової системи людини. У застосуванні

визначення якості м’яса датчик E-tongue отримує сигнал смакової речовини, а комп’ютер використовує алгоритм розпізнавання образів для аналізу та ідентифікації складу м’яса та ступеня метаморфізму. З метою розрізнення різного м’яса використовували багаточастотну імпульсну систему E-tongue для визначення, наприклад, якості курячого м’яса. Результати свідчать про те, що сигнали датчика Е-язика значно відрізняються для сирих грудок і гомілок однієї породи курей. Подібним чином також використовували E-tongues для опису кореляції, виявленої між потенціометричними вимірюваннями та варіаціями певних фізико-хімічних, мікробних і біохімічних параметрів, виміряних на цільному шматку свинячої корейки, що зберігалася в холодильнику. Зрештою, вони виявили дивовижну кореляцію між pH, так званим К-індексом, і потенціометричними даними.

Загалом було помічено, що сенсорна технологія E-nose/E-tongue в основному забезпечує оцінку свіжості м’яса, ідентифікацію сортів і якості м’яса, а також визначення рівня псування та часу зберігання на основі запаху чи смаку. Вимоги до тестування щодо середовища збору є відносно високими, а індекс виявлення відносно простим і єдиним, що не може задовольнити вимогу багатоіндексної комплексної оцінки якості м’яса.

2.2.7. Інші методи визначення якості м'яса

Зі швидким розвитком штучного інтелекту в галузі визначення якості м’яса та на додаток до згаданої вище загальновживаної технології неруйнівного контролю з’явилися наступні методи неруйнівного визначення якості м’яса:

Спектроскопія ядерного магнітного резонансу (ЯМР) заснована на принципі обміну енергією між магнітним ядром і радіочастотним магнітним полем для виявлення структури різних органічних або неорганічних сполук. Технологія широко використовується в медицині та досягла великого успіху, згодом деякі вчені застосували її для виявлення внутрішніх інгредієнтів у їжі. Продемонстровано використання комбінації вимірювань об’ємного ЯМР

та магнітно-резонансної томографії (МРТ) значень протонів води для визначення спричинених теплом змін у структурі свіжого курячого м'яса. Було об'єднано дані, отримані за допомогою ЯМР-спектроскопії, з хемометричними показниками, щоб визначити зміни в концентраціях полярних метаболітів у яловичини, які зберігалися протягом різних періодів після забою. Отримані дані продемонстрували потенціал цього нового підходу використання ЯМР-спектрометрії високої роздільної здатності як відповідного методу для профілювання зразків м'яса. Досліджено вплив віку на хімічний склад м'яса качки за допомогою спектроскопії ЯМР$^{1H.}$ Їхні результати дозволяють використовувати для оцінки якості качиного м'яса як їжі. Охарактеризовано вплив процесу (миття, кип'ятіння 1 год із сіллю, глибоке смаження та кип'ятіння 2 год) на профілі водорозчинних низькомолекулярних сполук продуктів за допомогою протонної ЯМР-спектроскопії та жирної кислоти. Склад продуктів аналізували за допомогою газової хромато-мас-спектрометрії. Однак, з точки зору харчової науки, ЯМР в основному використовується для аналізу та виявлення води, білка, жиру, вуглеводів і деяких мікроелементів шляхом аналізу змін хімічних речовин у м'ясі для вивчення механізму зміни та причин смаку, колір і ніжність.

Біоімпеданс є основним фізичним параметром біологічної тканини, головним чином відображає складні діелектричні властивості біологічних тканин, органів, клітин або цілих біологічних організмів. Принцип вимірювання за цією методикою полягає у введенні невеликого змінного струму (або напруги) на поверхню досліджуваного об'єкта через електроди з подальшим отриманням фізіологічної або патологічної інформації на основі змін діелектричних властивостей у термінах різниці потенціалів. Досліджено варіації та взаємні зв'язки між значеннями біоімпедансу, значенням pH і швидкістю втрати води м'язами бика біля точки замерзання. Результати показали, що кореляція між біоімпедансом і pH, а також швидкістю втрати води є значущою ($p \geq 0,05$). При цьому використовували спектроскопію біоелектричного імпедансу для вимірювання МС у свинячому м'ясі, і сорок чотири частини *довгого* м'яза спини

(*Longissimus Dorsi* Muscle) свиней були оцінені за допомогою електрода з чотирма кінцевими кутами в портативній системі біоімпедансної спектроскопії. Створено метод швидкого визначення свіжості охолодженої свинини на основі технології біоімпедансу. Досліджено величину електричного опору та фазові властивості незаморожених і заморожених-розморожених курячих грудок, підданих різному часу розморожування, щоб дослідити здатність визначення імпедансу для замороженого-розмороженого м'яса. Нейронна мережа радіальної базисної функції (RBF – Radial Basis Function) була використана для отримання інформації про імпеданс та амплітуду. Відзначено, що в останні роки аналіз біоімпедансу широко використовується для прогнозування значення pH, вмісту жиру, активності води тощо, а також для визначення свіжості та зрілості м'яса.

Рентгенівське випромінювання має характеристики проникаючої здатності, дифракційної дії та збуджуючої флуоресценції. Це робиться шляхом фіксації різниці ступенів ослаблення, що виникає після взаємодії з атомами різних речовин. При проникненні рентгенівського випромінювання можна отримати трансмісійні зображення та томографічні зображення зразків для подальшого аналізу внутрішньої структури, щоб уможливити віртуальну сегментацію туші для сортування. Вивчено рентгенівську томографію для вимірювання та оцінки складу та якості свинячої туші. Співвідношення трьох основних тканин, жиру, нежирної тканини та кісток, визначали за допомогою рентгенівської комп'ютерної томографії (КТ), а потім тушу класифікували відповідно до товщини жиру та нежирної тканини. Запропоновано новий метод компенсації коливань поглинання рентгенівського випромінювання для виявлення фрагментів кісток у м'ясі птиці з нерівномірною товщиною. Експериментальні результати показали, що запропонований метод візуалізації усунув помилкові картини та підвищив чутливість рентгенівського випромінювання при виявленні кісткових фрагментів. Були проаналізовано фізичні характеристики курячої туші Sanhuang на основі техніки КТ (рентгенівського сканування), і результати експерименту показали, що взаємне

розташування серця, легенів, м’язів, шлунку та нирок можна чітко визначити на основі на КТ-зображеннях горизонтального та вертикального перерізів туші. Проведено дослідження значення застосування двоенергетичного рентгенівського випромінювання для прогнозування вмісту IMF та іншої поживності в тушах овець, і результати довели необхідну основу для застосування двоенергетичного рентгенівського випромінювання для прогнозування та оцінки якість м'яса.

В останні роки у зв’язку зі збільшенням уваги та постійним розвитком штучного інтелекту, а також зростанням попиту на високоякісне та безпечне м’ясо в поєднанні зі збільшенням населення різні технології неруйнівного виявлення стали все ширше використовуватися в галузі якості м’яса. Серед наявних досягнень досліджень неруйнівного виявлення якості м’яса дослідження якості м’яса в основному зосереджені на чотирьох категоріях яловичини, свинини, баранини та птиці (курки), включаючи оцінку сенсорних характеристик, виявлення компонентів поживних речовин, ідентифікацію фізико-хімічних властивостей, розрізнення якості обробки (кількісний аналіз) і судження про якість безпеки (якісний аналіз).

Сенсорна якість безпосередньо впливає на бажання споживача купувати м’ясо, що відображає його товарну цінність. Як правило, м'ясо оцінюють за кольором, мармуровістю, свіжістю, ніжністю, смаком і соковитістю. Серед них смак м’яса тісно пов’язаний із такими поживними речовинами, як амінокислоти та жирні кислоти, а соковитість тісно пов’язана з вмістом жиру та МС у м’ясі. Було використано CVS для прогнозування атрибутів кольору свинини. Запропоновано метод визначення свіжості яловичини на основі багатоспектральної техніки дифузного відбиття. Оцінено портативну систему комбінаційного розсіювання на 671 нм для оцінки чутливості *середніх сідничних* м’язів старшої рогатої худоби та створено модель прогнозування чутливості яловичини за допомогою методу PLSR, яка отримала точність 88%. Вивчено вплив ультразвукової технології на м’якість гусячої грудки та розроблено швидку аналітичну техніку для прогнозування смаку яловичини за

допомогою RS та для дослідження кореляцій між сенсорними властивостями молодої яловичини молочного бика за допомогою хемометричного методу.

Поживні компоненти відображають їстівну цінність м'яса, що головним чином стосується моніторингу та аналізу вологості м'яса, білка, жиру, вітамінів і мінералів. З цією метою спроектували та розробили онлайнову систему виявлення та класифікації вологості свинини на основі NIR-спектроскопії, змодельованої за допомогою техніки PLSR для прогнозування та класифікації вологості свинини. Визначили жир, білок і воду в охолодженій свинині за допомогою спектроскопії пропускання Vis-NIR. Цей результат показав, що метод Vis-NIR може добре вимірювати вміст жиру та води в охолодженій свинині, однак він не придатний для білка.

Таким чином, технологія неруйнівного виявлення в основному застосовується для прогнозування та оцінки вмісту мікроорганізмів, pH, TVC і TVB-N у м'ясі використали інші параметри NIR-HSI (900–1700 нм) для вивчення небажаного зростання мікробів, викликаного коливаннями температури під час зберігання охолодженої свинини. Результати були обнадійливими та показали перспективність гіперспектральної технології для виявлення бактеріального псування свинини. Представлено новий підхід до прогнозування значень pH як індикатора якості для оцінки якості свинячого м'яса шляхом поєднання раманівської спектроскопії з метаевристикою та досліджено можливість застосування методу HSI для визначення оцінки стану свіжості вареної яловичини під час зберігання. Використано E-nose для прогнозування TVC і TVB-N у свинині та оцінювали свіжість охолодженої свинини під час зберігання в холодильнику за різних методів пакування та виміряно індекс біогенних амінів у свинині на основі даних HSI у поєднанні зі стехіометричним аналізом для оцінки свіжості та якості м'яса. Техніка PLSR показала чудовий прогноз з а r^2 0,96.

Якість обробки є важливим показником для оцінки технологічності м'яса. Зазвичай використовуваним показником для характеристики обробки м'яса є гідравлічна потужність, яка також називається втратою крапель або

затримкою води, яка використовується для оцінки здатності м’язової тканини м’яса утримувати воду. Потім був розроблений алгоритм обробки зображення для передачі прогнозної моделі в кожен піксель зображення для візуалізації втрати крапель у всіх частинах зразка м’яса

Безпека якості є важливою частиною перевірки безпечності м’яса, включаючи ідентифікацію сортів і походження м’яса, розпізнавання фальсифікованих компонентів і кваліфікацію ступеня пошкодження або терміну зберігання. Було встановлено, що можна використовувати CVS для виявлення якості м’яса (темне, тверде, сухе) і класифікувати його за групами якості. Досліджували потенціал мультиспектральної візуалізації в поєднанні з методами аналізу даних для виявлення фальсифікації яловичого фаршу з кониною, а також для вивчення продуктивності моделі під час зберігання в охолоджених умовах, і результати показали, що всі чисті та свіжозмелені зразки були класифіковано правильно. Описано швидкий і неруйнівний метод на основі системи Vis-NIR-HSI (400–1000 нм) для виявлення фальсифікації качиного м’яса у фарші з баранини. Використовували технологію E-nose для визначення свіжості та терміну зберігання охолодженої свинини. Дослідження показали, що термін зберігання охолодженої свинини при температурі 283 K і 277 K становив 2 дні і 5 днів відповідно.

Можна побачити, що з популяризацією та розвитком технології штучного інтелекту, завдяки невпинним зусиллям і прагненню науковців харчової промисловості в країні та за кордоном, технологія неруйнівного контролю досягла відносно бажаних досягнень у дослідженні якості м’яса. Однак більшість методів тестування використовують єдиний метод виявлення для певного конкретного індексу виявлення з прийнятними результатами прогнозування, який не може отримати багато інформації для комплексної оцінки зразків.

Проте на якість м'яса впливає багато зовнішніх факторів, його забруднення і псування є складним процесом змін, що є результатом спільної дії його внутрішніх компонентів і зовнішніх атрибутів. Єдиний обмежений показник

може описати лише одну з характеристик змін якості, що обмежує досягнення всебічної оцінки якості м’яса в цілому, а результатам тестування в кінцевому підсумку не вистачає повноти, застосовності та точності. Таким чином, необхідно синтезувати численні методи виявлення та індикатори, а також використовувати об’єднання даних для вивчення комплексного методу оцінки якості м’яса.

Злиття інформації з багатьох джерел, безсумнівно, створить великі труднощі та виклики для обробки та аналізу даних. Крім того, велика кількість надлишкових зображень і доданої інформації про дані вимагатиме вищих вимог до продуктивності апаратного забезпечення системи виявлення. Таким чином, це підтверджує необхідність вилучення корисної інформації для індикаторів перевірки якомога меншої та точної. Більше того, неруйнівний контроль – це переважно непряме вимірювання, яке використовує стехіометричний метод для встановлення моделей зв’язку між даними виявлення та показниками якості за допомогою певної кількості тестових зразків. Точність і надійність моделей прогнозування залежить від ефективних методів моделювання та оригінальних вибірок. Таким чином, на основі забезпечення продуктивності апаратного забезпечення (такої як продуктивність обчислень, роздільна здатність камери та різкість тощо) системи виявлення, необхідно терміново оптимізувати методи статистичного аналізу, щоб зменшити непотрібну та нерелевантну інформацію про дані. Тому, щоб прискорити процес роботи системи, важливо створити більш обґрунтовані та вдосконалені моделі регресійного алгоритму (PLSR, SVM, ANN тощо) і машинне навчання для подальшого видобутку інформації з даних, щоб сприяти підвищенню точності прогнозування, ефективності, і загальна продуктивність (адаптивність і надійність) системи виявлення якості м'яса.

Крім того, більшість сучасних методів неруйнівного контролю якості м’яса залишаються на стадії експериментальних досліджень, хоча було доведено, що система виявлення може відповідати певній швидкості та точності тестування. Однак ефективність неруйнівних технологій та їх вплив не перевірено на реальних виробничих лініях з переробки м’яса. Таким чином,

підвищуючи інтенсивність досліджень методів виявлення, моделей прогнозування та системного обладнання, критично необхідно підтвердити продуктивність випробувального обладнання в реальному виробничому процесі і, таким чином, сприяти демонстраційному застосуванню системи виявлення якості м’яса та інтелектуальний розвиток м'ясопереробної промисловості. Відповідну автоматичну комерційну систему перевірки якості м’яса можна реалізувати лише за наявності зворотного зв’язку щодо продуктивності неруйнівних технологій у промислових умовах (виробнича лінія з переробки м’яса в реальному часі).

У разі постійного зростання попиту людей на високоякісне м’ясо в поєднанні з розвитком штучного інтелекту, включаючи технології неруйнівного контролю, все ширше застосовуються для визначення якості м’яса. Технології машинного бачення, ближньої інфрачервоної спектроскопії, гіперспектральної спектроскопії, спектроскопії комбінаційного розсіювання, електронного носа/язика та ультразвукової візуалізації показали свої відповідні унікальні технічні характеристики під час контакту з м’ясом. Згодом ці технології досягли вагомих досягнень у дослідженнях щодо виявлення, оцінки та класифікації сенсорної якості, харчової якості, фізико-хімічної якості, обробки та безпечної якості м’яса (яловичини, свинини, баранини, птиці та водного м’яса).

Незважаючи на це, технологія машинного зору корисна для отримання характеристик зовнішнього вигляду м’яса, таких як колір, морфологія поверхні тощо, але за допомогою CVS важко отримати внутрішню якість м’яса. Навпаки, NIR може виявляти зміни внутрішнього складу м’яса, але не здатний розпізнавати зовнішню інформацію, таку як колір і запах м’яса. На відміну від CVS і NIR, технологія E-nose в основному використовується для моніторингу летких газів, що виділяються з м’яса, і не може визначити зовнішній колір і зміни внутрішнього складу м’яса. Технологія HSI поєднує в собі переваги методів CVS і NIR, що полегшує прогнозування як внутрішньої характеристичної інформації зразків, так і виявлення зовнішньої базової просторової інформації. Однак більшість досліджень використовують лише одну спектральну інформацію або

інформацію про зображення в гіперспектральних даних для цілей моделювання. Характеристики «комбінації спектру та зображення» технології HSI ще не повністю використовуються для проведення кількісного аналізу та якісної дискримінації для комплексного визначення параметрів якості м’яса.

Таким чином, численні технології неруйнівного контролю повністю органічно інтегровані, щоб отримати багатовимірну інформацію про дані інтегрованого зразка в поєднанні з оптимізованими та вдосконаленими хемометричними методами. Крім того, технологія цифрової обробки зображень у поєднанні з алгоритмами навчання штучного інтелекту використовувалася для побудови кількісних моделей прогнозування та якісних методів розрізнення якості м’яса. Крім того, проведення всебічної та повної оцінки свіжого м’яса за сенсорними характеристиками, внутрішніми складовими та зовнішніми факторами, а також застосування розроблених високоефективних систем визначення якості на фактичних виробничих лініях м’ясопереробки все ще є предметом дослідження та тенденціями розвитку неруйнівної якості м’яса. тестування, щоб суворо забезпечити якість і безпеку комерційного м'яса.

Питання для самоконтролю

1. Які методи визначення якості м’яса вважаються найбільш поширеними?
2. За рахунок чого Технологія штучного інтелекту стала важливою у застосуванні прогнозування якості м’яса?
3. Що собою представляє система комп'ютерного зору?
4. З яких основних елементів складається комплекс системи комп’ютерного зору?
5. Яким чином в дослідженні якості м’яса застосовується спектроскопія в ближньому інфрачервоному діапазоні?
6. У чому полягає технологія гіперспектрального дистанційного зондування м’яса і її переваги?
7. На якому головному принципі заснована техніка раманівської спектроскопії у визначенні якості м’яса?
8. У чому полягає суть техніки ультразвукової візуалізації у діагностиці м’яса?
9. За якими обставинами застосовуються техніки електронного носа і язика?

10. Як і коли застосовуються ЯМР-спектрометрія та рентгенівське випромінювання у діагностиці м’яса?
11. Який результат можна очікувати від злиття аналітичної інформації з багатьох джерел внаслідок сучасної діагностики харчового м’яса?

Рекомендована навчальна література

1. Сирохман І., Лозова Т. Товарознавство м'яса і м'ясних товарів. 2-ге видання. Київ: Центр учбової літератури, 2017. 378 с.
2. Янчева М., Пешук Л., Дроменко О. Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса і м'ясних продуктів. К.: Центр навчальної літератури, 2017. 304 с.
3. Маньковський А. Я. Технологія продуктів забою тварин : підручник / А. Я. Маньковський, Т. А. Антонюк. К. : Агроосвіта, 2014. 336 с.
4. Пешук, Л. В. Основи тваринництва і ветеринарно-санітарної експертизи м'яса та м'ясних продуктів : підручник / Л. В. Пешук ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : Центр навч. літ-ри, 2011. 400 с.
5. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
6. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.
7. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.
8. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств : підручник / І. Г. Бабанов та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2015. 599 с.
9. Toldrá, F. (ed.). Handbook of meat processing. John Wiley & Sons, 2010. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/mbpcgh
10. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty

Розділ 3. ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ М'ЯСА І М'ЯСОПРОДУКТІВ

3.1. Заморожування

Заморожування – це добре налагоджений процес консервування харчових продуктів, який забезпечує отримання високоякісних поживних продуктів, які пропонують тривалий термін зберігання. Однак заморожування підходить не для всіх харчових продуктів, і заморожування викликає фізичні та хімічні зміни в багатьох харчових продуктах, які сприймаються як зниження якості розмороженого матеріалу. Існує загальна думка, що швидке заморожування та утворення дрібних кристалів льоду дає деякі якісні переваги. Однак це стосується не всіх продуктів харчування. Наприклад, незважаючи на те, що швидкість заморожування може впливати на стікання м'яса, немає жодних доказів того, що вона має суттєвий вплив на його кінцеву харчову якість. Тим не менш, зараз у всьому світі досліджується та розробляється багато інноваційних процесів заморожування, щоб покращити час заморожування та якість продукції.

Деякі інноваційні процеси заморожування (удар і гідропсевдозрідження) по суті є вдосконаленням існуючих методів (повітряний струмінь і занурення, відповідно), які, забезпечуючи набагато вищі швидкості теплопередачі поверхні, ніж попередні системи, спрямовані на покращення якості продукту шляхом швидкого заморожування. У цих випадках переваги можуть залежати від розміру продукту, оскільки низька теплопровідність багатьох харчових продуктів обмежує швидкість охолодження великих об'єктів, а не передачу тепла між охолоджуючим середовищем і продуктом. Інші процеси (зміщення тиску, магнітний резонанс, електростатичний, мікрохвильовий, радіочастотний, ультразвук) є доповненнями до існуючих систем заморожування, які спрямовані на покращення якості продукту шляхом контролю того, як у харчових продуктах утворюється лід під час заморожування. Альтернативою є зміна властивостей самої їжі, щоб контролювати утворення льоду під час заморожування

(наприклад, при дегідрозаморожуванні та використанні антифризу та білків, що утворюють зародки льоду).

3.2. Ударне та гідрофлюїдизаційне заморожування

Ударне заморожування

Використання технології удару для збільшення поверхневої теплопередачі в системах повітряного заморожування було одним із небагатьох останніх інновацій, які були справді комерційно реалізовані. Удар – це процес спрямування струменя або струменів повітря на тверду поверхню для зміни. Дуже висока швидкість (20–30 $мс^{-1}$) ударних струменів повітря «розбиває» статичний поверхневий прикордонний шар газу, який оточує харчовий продукт. У результаті середовище навколо продукту є більш турбулентним, і теплообмін через цю зону стає набагато ефективнішим. Ударне заморожування найкраще підходить для продуктів із високим співвідношенням площі поверхні до маси (тобто продуктів з одним невеликим розміром, таких як бургери чи рибне філе). Тестування показало, що вироби товщиною менше 20 міліметрів найефективніше замерзають у середовищі теплопередачі. Процес також дуже привабливий для продуктів, які вимагають дуже швидкого поверхневого заморожування та охолодження.

Гідрофлюїдизаційне заморожування

Гідрофлюїдизаційне (HF) заморожування по суті є формою заморожування зануренням. Це можна вважати аналогічним заморожуванню рідинним ударом. Для високочастотного заморожування використовується циркуляційна система, яка перекачує охолоджуючу рідину вгору через отвори або форсунки в холодильній ємності, створюючи таким чином хвилюючі струмені. Вони утворюють киплячий шар високотурбулентної рідини та рухомих продуктів і, таким чином, забезпечують надзвичайно високі поверхневі коефіцієнти теплопередачі, які сприяють швидкому заморожуванню.

3.3. Заморожування за допомогою високого тиску

Заморожування під високим тиском (з використанням тиску від 200 до 400 МПа), і, зокрема, заморожування зі зсувом тиску привертає значний науковий інтерес в останні роки. Коли вода заморожується при атмосферному тиску, її об'єм збільшується, що спричиняє пошкодження тканин харчових продуктів. Проте теоретично заморожування під високим тиском призводить до утворення різного льоду, який має більшу щільність, ніж вода, не збільшується в об'ємі під час утворення та існує в «склистому» некристалічному стані, що може зменшити пошкодження тканин. При тиску 200 МПа температура замерзання падає приблизно до -22°C, що забезпечує глибину скління близько 200 мкм, щоб об'єкти товщиною до 0,4-0,6 мм могли добре заморожуватися. При заморожуванні зі зсувом тиску їжа охолоджується під високим тиском до мінусових температур, але не зазнає зміни фази та не заморожується, доки тиск не скинеться. Швидке зародження призводить до утворення маленьких рівних кристалів льоду. Таким чином, теоретично зародження відбувається миттєво і однорідно по всій їжі. Це має призвести до скорочення тривалості фазового переходу, меншого механічного навантаження під час утворення менших кристалів льоду з рівномірним розподілом по всій їжі. Теоретично це було б особливо корисно під час заморожування продуктів із великими розмірами, у яких низька теплопровідність багатьох продуктів призводить до температурних градієнтів, які ускладнюють досягнення швидкого заморожування в центрі таких продуктів. Незважаючи на те, що дослідження показали, що заморожування зі зміщенням тиску може утворювати менші, більш широко розподілені кристали льоду в багатьох продуктах, залишається встановити, чи призводить це до комерційно кращого продукту. Наприклад, дослідження свинини та яловичини не показали жодної реальної комерційної якості цих продуктів. Капітальні витрати на обладнання є однією з перешкод, що стримують подальший розвиток заморожування зі зсувом тиску, як і властивий періодичний характер поточного процесу та тривалий етап попереднього охолодження, необхідний перед

утворенням зародків; однак проникнення інших процесів високого тиску в харчову промисловість може почати вирішувати ці проблеми.

3.4. Ультразвукове заморожування і заморожування за допомогою магнітного резонансу

Ультразвукове заморожування

У той час як розморожування за допомогою ультразвуку було перевіреним процесом протягом відносно тривалого часу, його використання для сприяння заморожуванню відбулося нещодавно. У дослідженнях в основному використовувався «потужний ультразвук», форма ультразвукової хвилі з низькою частотою (від 18–20 кГц до 100 кГц) і високою інтенсивністю (зазвичай вище 1 Вт/см^2). Теоретично ультразвук створює кавітаційні бульбашки по всьому продукту, що сприяє більш рівномірному утворенню зародків льоду та дробленню вже наявних кристалів льоду на менші кристали. Це також може прискорити конвективну теплопередачу в охолоджувальних середовищах, таким чином прискорюючи процес заморожування. Незважаючи на те, що було запропоновано можливі шляхи інтеграції ультразвукових пристроїв до деяких комерційних морозильних установок (таких як повітряний струї і пластинчасті морозильні камери), поки що не відомо про будь-яку комерційну ультразвукову морозильну установку, хоча дослідження на лабораторному рівні все ще тривають.

Заморожування за допомогою магнітного резонансу

Запатентована японська система заморожування під назвою CAS (Cells Alive System), яка включає змінні магнітні поля для покращеного заморожування та зберігання продуктів у замороженому вигляді. Технологія CAS стверджує, що «зберігає текстуру та смак їжі» шляхом посилення переохолодження продукту, що досягається шляхом піддавання цільового продукту магнітному полю низької інтенсивності перед заморожуванням (по суті, та ж мета, що й заморожування зі зсувом тиску). Також повідомляється, що «пульсуюче повітря мінімізує

утворення льодових скупчень», їжу також обробляють «осцилюючим магнітним полем під час зберігання», що зменшує кількість бактерій і дозволяє «продуктам зберігатися протягом двох-трьох років» або навіть довше». На даний момент, хоча в Японії повідомлялося про повномасштабні комерційні установки ABI CAS, існує дуже мало рецензованих опублікованих робіт щодо заморожування м'яса за допомогою магнітного резонансу.

3.5. Електростатичне заморожування

Електростатичне заморожування наразі досліджувалася лише в лабораторних масштабах у модельних системах. Принцип полягає в тому, що застосування електричного поля до їжі орієнтує полярні молекули, такі як вода, таким чином контролюючи переохолодження та кристалізацію льоду. Метою дослідження було визначити вплив обробки електростатичним полем на якість замороженої баранини. Зовнішнє статичне електричне поле прикладалося з напруженістю $E = 0–5{,}8 \cdot 10^4$ В/м під час заморожування при -20 °C. Після заморожування в електростатичному полі зразки м'яса розморожували і інструментальними методами оцінювали їх якісні характеристики, такі як втрата крапель, текстуру та колір. Для дослідження мікроструктури м'яса використовували метод світлової мікроскопії. Результати показали, що застосування електростатичного поля під час заморожування призвело до значних мікроструктурних змін м'ясної тканини. Середній розмір кристалів льоду в зразках м'яса, заморожених під електричним полем $5{,}8 \cdot 10^4$ В/м, зменшився до 60% порівняно зі звичайним процесом заморожування. Було також виявлено, що втрати краплі зменшуються зі збільшенням напруженості електростатичного поля. На колір і твердість м'яса електричне поле істотно не вплинуло. Це дослідження дає значну інформацію про вплив електростатичного заморожування на якість м'яса. Воно демонструє ефективність електростатики для зменшення розміру кристалів льоду та допомагає зберегти якість м'яса під час заморожування. Оскільки цей метод потребує менше енергії та завдає менше

шкоди харчовим продуктам, промислове застосування цієї технології зростає. Промислове застосування електростатичного поля виглядає багатообіцяючим, оскільки його можна використовувати для контролю зародження льоду та застосовувати дистанційно та рівномірно по всьому зразку. Крім того, електростатичне поле є економічно ефективною системою, якою легко керувати і яку можна легко інтегрувати з комерційно доступним морозильним обладнанням.

Електростатичні поля – це постійні поля, які не змінюють інтенсивність або напрямок з часом. Система електростатичного поля повинна бути сконструйована таким чином, щоб вона могла працювати при високій напруженості електричного поля, і необхідно запобігти пробою діелектрика всередині системи. Для опису механізму процесу кристалізації в електричному полі було запропоновано два пояснення, засновані на молекулярно-динамічному моделюванні та термодинамічних законах. Згідно з моделюванням молекулярної динаміки, вода має дипольний момент через те, що кисень трохи негативний, а водень з іншого боку більш позитивний. У присутності електричного поля молекули води прагнуть вирівнятися з полем. На підставі молекулярно-динамічного підходу застосування досить сильного електричного поля постійного струму ($1{,}0–1{,}5\cdot10^9$ В/м) до об’єму та кластерів води показало різку структурну зміну, у тому числі всі молекулярні диполі орієнтовані у напрямках менше 90° з по відношенню до вектора електричного поля, підвищення швидкості молекулярної переорієнтації та водневих зв’язків, які є сильнішими вздовж поля, ніж уздовж ортогональних напрямків. Зародження льоду відбувається, коли достатня кількість відносно довгоживучих водневих зв’язків спонтанно розвивається в тому самому місці, щоб утворити досить компактне ядро. У цьому випадку енергетичний бар'єр для фазового переходу зменшується шляхом застосування зовнішнього електричного поля з напругою в кілька кіловольт на метр і, відповідно, критичний радіус, який відповідає розміру стабільного кристала льоду, також зсувається в бік менших значень.

Останнє дослідження показали вплив електростатичного поля на реальну харчову систему. Досліджено вплив електростатичного поля на м'язи свинячої вирізки та виявлено, що завдяки збільшенню сили електростатичного поля зменшується ступінь переохолодження, а аналіз мікроструктури м'ясної тканини демонструє кращу клітинну структуру. Середній еквівалентний круговий діаметр кристалів льоду значно зменшувався зі збільшенням впливу електростатичного поля.

3.6. Заморожування за допомогою мікрохвиль

Потенціал мікрохвиль для сприяння заморожуванню вивчався кількома дослідниками. Запропонований принцип мікрохвильового заморожування полягає у використанні обертання диполя води, спричинене мікрохвилями, з метою порушити зародження льоду та утворення під час заморожування. Дослідження стосувалися кріоконсервації невеликих біоматеріалів з використанням кріопротектора (етиленгліколь). Незважаючи на те, що з тих пір було опубліковано мало робіт, компанія Samsung Electronics запатентувала пристрій, що використовує мікрохвилі для запобігання спонтанному зародженню переохолодженої рідини під час зберігання, а нещодавно було опубліковано дослідження використання радіочастот для сприяння заморожуванню свинини.

Дослідження було направлено на заморожування харчових продуктів за допомогою інноваційної технології, що поєднує заморожування на повільній швидкості з частковим випромінюванням мікрохвиль (2450 МГц); ця інноваційна концепція довела, що середній розмір кристалів льоду зменшився на 62% при заморожуванні зразків під мікрохвильовим опроміненням порівняно з контролем (дослідження на свинині).). Заморожування забезпечує майже нескінченний термін придатності харчових продуктів з огляду на мікробний ризик, і це безпечно для навколишнього середовища, оскільки воно зменшує харчові відходи та забезпечує зручність для споживача. Обмеження терміну

придатності скоріше пов’язані з погіршенням якості харчових продуктів, що спричинено: механічним пошкодженням, за рахунок утворення кристалів льоду, та впливом на матрицю концентрованого розчину. Щоб покращити якість заморожених продуктів, зазвичай рекомендується швидке заморожування, що призводить до зменшення кристалів льоду. Однак швидке заморожування збільшує потребу в енергії: для швидкого заморожування потрібні низька температура навколишнього середовища та висока швидкість повітря для підвищення швидкості передачі тепла. Пропонується надзвичайно інноваційна техніку, яка показала, що невелика кількість випромінюваної мікрохвильової енергії в поєднанні з повільною швидкістю заморожування здатна зменшити розмір кристалів льоду в замороженому м’ясі.

М'ясо ягняти заморожували під мікрохвильовим опроміненням з різними рівнями потужності 0%, 40%, 50% і 60%. Методом світлової мікроскопії досліджували мікроструктуру замороженої баранини одразу після заморожування . Крім того, після розморожування зразків замороженого м’яса оцінювали такі властивості якості, як втрата крапель, текстура та колір. Результати показали, що середній розмір кристалів льоду при найвищому рівні мікрохвильової потужності був приблизно на 38% меншим, ніж у замороженому зразку без застосування мікрохвильового опромінення (контрольний зразок). Втрати крапель і зміна кольору зменшилися завдяки збільшенню рівня потужності мікрохвильового випромінювання. Крім того, мікрохвильове заморожування на рівнях потужності 50% і 60% сприяло підвищенню твердості розмороженої баранини.

Заморожування за допомогою мікрохвиль – це новий процес, який дозволяє зменшити розмір кристалів льоду та, таким чином, покращити якість заморожених продуктів. Вимірювання кристалів льоду в зразках, заморожених у контрольованих умовах як заморожування, так і мікрохвильового опромінення, дозволяє вивчити основні параметри, які викликають зменшення їх розміру. Краще розуміння відповідних факторів, що впливають на зародження та/або ріст кристалів, може допомогти оптимізувати процес.

3.7. Радіочастотне заморожування

Запропонований принцип мікрохвильового та радіочастотного заморожування подібний до мікрохвильового заморожування, тобто використання обертання водяного диполя, викликаного мікрохвилями, для переривання зародження льоду та утворення під час заморожування. Це також може знизити точку замерзання, таким чином створюючи більше центрів зародження. Опубліковане дослідження продемонструвало, що кріогенне (рідкий азот) заморожування м'яса свинини за допомогою радіочастотних імпульсів низької напруги (2 кВ) спричинило набагато менше міжклітинних пустот і клітинних руйнувань мікроструктури м'яса під час застосування радіочастоти. У порівнянні зі звичайними замороженими зразками, РЧ-заморожене м'ясо мало менші кристали льоду, які були переважно внутрішньоклітинними. Проведено заморожування свинини в пілотному радіочастотному обладнанні, модифікованому для занурення їжі в розпилювач рідкого азоту. Під час заморожування застосовувалася імпульсна радіочастотна обробка (кріогенне заморожування за допомогою радіочастоти). Заморожування в кріогенному потоці рідини (кріогенне заморожування) і заморожування на повітрі також проводили як контроль. Результати показали, що радіочастотне заморожування можливе за допомогою імпульсів низької напруги (2 кВ). Втрати при розморожуванні радіочастотного кріогенно замороженого м'яса були набагато нижчими, ніж ті, які спостерігалися під час розморожування повітря та кріогенно замороженого м'яса, що показало подібні втрати краплями. Проведені аналізи мікроструктури м'яса показали, що тканина демонструвала кращу клітинну структуру при застосуванні радіочастотного випромінювання.

Спостерігалося набагато менше міжклітинних пустот і руйнування клітин. Порівняно з контрольним зразком, РЧ-заморожене м'ясо містило менші кристали льоду, які були переважно розташовані на внутрішньоклітинному рівні. Це пояснюється здатністю РЧ знижувати точку замерзання, таким чином створюючи більше центрів зародження.

Незважаючи на те, що заморожування харчових продуктів є консолідованою та широко використовуваною технологією збереження, все ще залишається проблема контролю розміру та розташування кристалів льоду. Пошкодження клітинної структури можна звести до мінімуму шляхом застосування високої швидкості заморожування, що призводить до утворення дрібних і численних кристалів льоду як на внутрішньоклітинному, так і позаклітинному рівнях. На промисловому рівні найбільш використовуваними методами швидкого заморожування є повітряний струмінь, контакт пластини, киплячий шар і кріогенне заморожування. Швидкість заморожування, досягнута цими методами, обмежена теплопровідністю харчових продуктів, яка має низьке значення (приблизно 0,5–1,5 Вт/м K). Тому для індукції швидкого та надшвидкого заморожування нещодавно були запропоновані різні стратегії, засновані на заморожуванні за допомогою тиску або ультразвуку. У той час як перший заснований на перепадах тиску/температури для сприяння миттєвому зародженню, другий дозволяє контролювати розмір кристалів льоду шляхом застосування акустичного стресу.

Це дослідження було спрямоване на використання обертання водяного диполя, індукованого ВЧ, для контролю розміру кристалів льоду під час замерзання. Це було досягнуто за допомогою низьковольтних радіочастотних імпульсів для мінімізації виділення тепла. З цією метою було проведено заморожування свинини в пілотному радіочастотному обладнанні, належним чином модифікованому для занурення їжі в розпилювач рідкого азоту. Цю кріогенну рідину було обрано для вивчення ефектів радіочастотних імпульсів за умов, які найбільше сприяють утворенню кристалів льоду малого розміру. Під час заморожування застосовувалися імпульсні радіочастотні обробки з низькою напругою, і їх вплив на деякі параметри якості м’яса порівнювався з ефектами, пов’язаними з заморожуванням на повітрі при
-40 °C і звичайним заморожуванням потоком азоту.

Шматки свинячої корейки розміром приблизно 16×11×6 см вручну нарізали гострим ножем на 5 кубиків із ребром 4,5 см. Кожен кубик був

загорнутий у поліетиленову плівку, щоб уникнути поверхневої дегідратації під час заморожування. Як джерело радіочастотної енергії було використано пілотне радіочастотне обладнання (3,5 кВт, 27,12 МГц, Stalam, Італія) з пластинчастими аплікаторами (рис. 4). Систему керування обладнанням було модифіковано для забезпечення точної доставки радіочастотних імпульсів низької напруги. Спочатку дослідження було зосереджено на можливості передавати радіочастотні хвилі, коли кріогенна рідина тече на продукт. Зокрема, було створено пілотну установку, що поєднує радіочастотне та кріогенне заморожування потоків, і визначено адекватні умови обробки. З цією метою радіочастотне пілотне обладнання було модифіковано для доставки кріогенної рідини в робочу камеру. Фактично це було зроблено шляхом підключення обладнання до зовнішнього резервуару рідкого азоту за допомогою труби з трьома соплами.

Ця робота є першою спробою використати комбінований вплив радіочастот низької напруги та кріозаморожування для отримання заморожених продуктів підвищеної якості. Отримані результати показують, що м’ясні кубики дійсно можна заморозити, якщо створити відповідні умови обробки. Обробка дозволила контролювати розмір і розподіл кристалів льоду в тканині, ймовірно, за рахунок крутного моменту молекули води.

Рис. 4. Пілотна установка Stalam RF (Італія), що поєднує радіочастотне та кріогенне заморожування потоків [2]

Загартування або розморожування сирих або оброблених харчових продуктів з використанням звичайних методів може спричинити такі труднощі, як: повільний процес, ріст бактерій у продукті, великі втрати крапель (економічні втрати); псування поверхні виробу; серійна обробка (високі витрати на транспортування, ризик поломки, синців та інших пошкоджень продукту внаслідок такого поводження). Недоліків звичайних методів розморожування можна уникнути завдяки здатності машин Stalam RF швидко генерувати тепло всередині продукту. Отже, основні переваги методу розморожування Stalam RF:

- розморожування відбувається за лічені хвилини, а не за години/дні, навіть для великих блоків продукту та, якщо необхідно, безпосередньо всередині упаковки, яка використовується для зберігання (картонні коробки, поліетиленові пакети тощо);
- швидкість обробки та однорідність мінімізують деградацію продукту та покращують вихід:

- відсутність крапельних втрат;

- відсутність погіршення органолептичних, хімічних або фізичних властивостей;

- відсутність бактеріального розмноження (зберігається найкраща якість продукту);

- продукт можна отримати при правильній температурі, необхідній для наступного етапу обробки;

- найвигідніше співвідношення продуктивності/площі в порівнянні з традиційними звичайними методами (великі приміщення для розморожування або обладнання).

3.8. Приклади технологічного обладнання для заморожування м'яса та м'ясопродуктів

Морозильна камера Messer Wave Impingement (США) (рис. 5). Запатентований високопродуктивний морозильний апарат Wave Impingement Freezer поєднує в собі переваги хвильового перемішування продукту з потоками газу, створюваного ударними потоками, для досягнення підвищених рівнів продуктивності та якості заморожування при невеликій площі. Хвилеподібний рух перемішує продукт, підтримуючи розділення продуктів у морозильній камері. Високошвидкісний конвективний потік повітря збільшує передачу тепла, одночасно зменшуючи споживання азоту та загальну вартість заморожування. Гігієнічно розроблена морозильна камера Wave Impingement Freezer вимагає мінімального обслуговування, а її верхня частина піднімається вертикально для легкого доступу до тунелю для очищення.

Рис. 5. Хвильовий морозильник Messer Wave Impingement Freezer [3]

Хвильовий морозильник Messer Wave Impingement Freezer – це інноваційне рішення для заморожування великої місткості, яке поєднує переваги хвильового перемішування продукту з потоками газу. Технологія удару Messer об’єднує кріогенні гази з високошвидкісним конвективним потоком повітря для швидкого охолодження та заморожування харчових продуктів. Це потужна і економічна технологія удару тепер поєднується з підвищенням якості хвилі та контрольованими вібраційними системами для індивідуальної швидкої заморозки продуктів. Це рішення подвійного призначення, завдяки якому підтримується високий технологічний рівень, пропускна здатність вище, ніж у морозильних камерах з викидом CO_2. Цей холодильник ідеально підходить для м’яса, морепродуктів і продуктів, таких як куряче м'ясо, нарізане шматочками/кубиками, ковбаса, фрикадельки, паста, креветки, начинка для піци, фрукти та овочі. Технологія хвильового удару Messer використовує рідину азот

як кріогенне середовище для миттєвого заморожування, яке зберігає природний смак і вологу.

Тунельна морозильна камера OctoFrost™ IQF (Швеція) (рис. 6) – це компактна та високоефективна морозильна камера з невеликою площею. Це найменша морозильна камера на ринку – зазвичай на 50% менша, ніж будь-яка інша морозильна камера за такої ж виробничої потужності. Це також готова машина, яку можна легко транспортувати на звичайній вантажівці або контейнеровозі.

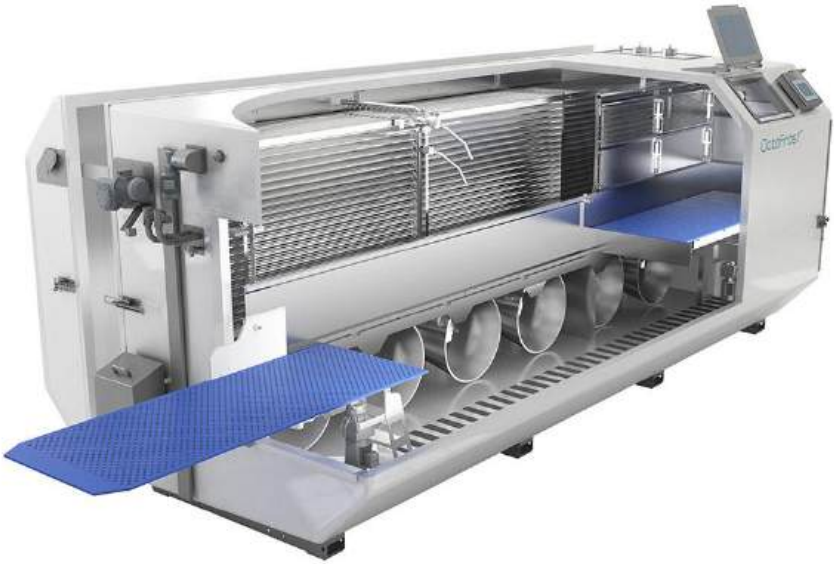


Рис. 6. Тунельна морозильна камера OctoFrost™ IQF [4]

Завдяки високопродуктивним вентиляторам, оснащеним перетворювачами частоти, потік повітря можна регулювати для різних типів продуктів, досягаючи енергоефективності та оптимальної продуктивності. Оскільки швидкість обертання лопатей вентилятора не повинна перевищувати 75-85%, а для деяких легких продуктів швидкість не перевищує 30% – тунельна морозильна камера OctoFrost IQF дозволяє процесорам значно економити енергію. Для деяких

легких продуктів швидкість не перевищує 30%. Виготовлені на замовлення осьові пластинчасті вентилятори OctoFrost були ретельно розроблені для роботи разом з корпусом морозильника та опорними пластинами. Нарешті, завдяки меншому компресору тунельна морозильна камера OctoFrost IQF потребує менше тепла для охолодження, а тому вентилятори споживають ще менше енергії

Тунельна морозильна камера OctoFrost™ IQF сконструйована як легкодоступний автономний моноблок із закругленими кутами та похилими поверхнями, що також дозволяє ретельно очищати морозильну камеру. Пластини, які можна легко замінити та очистити поза морозильною камерою, зменшують час простою без шкоди для безпечності харчових продуктів. У поєднанні з ефективною системою Clean-In-Place це допомагає переробникам підтримувати високі стандарти безпеки харчових продуктів. Тунельна морозильна камера OctoFrost IQF оснащена змінними опорними пластинами замість стрічки. Плити OctoFrost вважаються одним із найбільш інноваційних удосконалень гігієнічного дизайну морозильних тунелів. Завдяки з'єднанню між частинами опорних пластин, їх можна легко зняти та помити поза тунельною морозильною камерою:

- це забезпечує гнучкість швидкої зміни продукту без ризику перехресного зараження між різними партіями продукту;
- немає простоїв для чищення підкладок, оскільки новий і чистий набір можна використовувати відразу після видалення старого;
- легке та ефективне очищення поза морозильником для безпеки харчових продуктів.

Оптимальна товщина опорних пластин OctoFrost™ і конфігурація отворів опорних пластин створюють вищий перепад тиску та уникають мертвих зон, що дозволяє досягти оптимального повітряного потоку з меншою швидкістю вентилятора залежно від характеристик продукту. Це призводить до меншого споживання енергії з покращеними результатами заморожування. Тунельна морозильна камера OctoFrost проходить ретельну перевірку з заводу та готова до

роботи протягом 2-3 днів після прибуття, таким чином нормальне виробництво продуктів на заводі може продовжуватися під час встановлення. Завдяки компактній конструкції морозильника, який спирається на власні опорні ніжки, немає необхідності в підготовці підлоги, фундаменті чи інших стаціонарних установках. Крім того, повітря може циркулювати під морозильником, щоб уникнути накопичення холоду на підлозі. Завдяки оптимальному розміру тунельну морозильну камеру Octofrost IQF можна перемістити у виробничий цех за допомогою простого навантажувача без будь-яких великих заходів. Процес інсталяції тунельного морозильника IQF є життєво важливим для процесорів IQF. Простий процес може заощадити багато часу та клопоту в логістиці, операціях і виробництві на заводі.

OctoFrost пропонує діапазон продуктивності від 500 до 15 000 кг/год для морозильника OctoFrost IQF.

Спіральна морозильна камера Frigoscandia GYRoCOMPACT® 70 (GC70) (рис. 7), найновіша морозильна камера в лінійці компанії JBT, тепер пропонується з послідовним розморожуванням. Це означає, що виробники можуть використовувати збільшену потужність GC70 для безперервної роботи до двох тижнів. Виробники, які обирають цю функцію на GC70, можуть отримати вигоду від 20% збільшення ємності без шкоди для займаної площі, на додаток до більш тривалого часу роботи, ніж у його попередника. GC70 тепер може працювати безперервно протягом тривалих періодів часу завдяки своїй інноваційній функції, позбавляючи необхідності періодично призупиняти виробництво для розморожування. GC70 – це нова версія серії спіральних морозильних камер JBT Frigoscandia GYRoCOMPACT, яка є галузевим стандартом технології спіральних морозильних камер у всьому світі. Окрім ременя шириною 700 мм, GC70 має кілька важливих функцій, оптимізованих для кращої, розумнішої та потужнішої роботи, ніж раніше.

Рис. 7. Спіральна морозильна камера Frigoscandia GC70 [5]

Технічна характеристика

Тип камери – Frigoscandia FRIGoBELT Nova.

Висота ланки, мм – 65 80 100 120 150

Вертикальний зазор для виробу, мм – 50 65 85 105 135

Сітка – М6-1,5, М9-1,5, М13-1,5, М20-1,5

Ширина загальна, мм – 760

Ширина нетто, мм – 715

Ширина між вхідними кришками, мм – 700

Довжина ярусу, м – 14

Ефективна площа стрічкового конвеєра на ярус, $м^2$ – 8,4

Швидкість конвеєрної стрічки, м/хв – 2,0 – 35 (стандартний діапазон швидкості)

Нормальне споживання електроенергії, кВт – 26 36 41 61 56 83
Мережна напруга – 3х380 – 480 В / 3х575 В, 50/60 Гц
Кількість випарників – 1 1 2
Базове навантаження, кВт – 30 40 46 65 61 88
Стандартна конструкція холодильної машини – R717 (аміак)
Споживання води, л/хв при 300 кПа – 210 250 420
Засіб для розморожування – гарячий газ або питна вода
Мінімальна/максимальна температура води, °С – +15 / +25
Нормальна відстань завантаження на прямому стрічковому конвеєрі –

Прямокутні вироби	Круглі вироби
1,65 х довжина виробу	1,45 х діаметр виробу

Виробник – **JBT Corporation, USA**

Ще один важливий аспект GC70 – це місткість. JBT розширив загальну місткість GC70 шляхом збільшення та максимального збільшення кількості морозильних камер, які можуть охопити ту саму площу, щоб обійти обмеження простору в багатьох місцях, і загальним досягненням є збільшення потужності до 20%.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає сутність заморожування м’яса?
2. На який механізм дії спирається ударне заморожування м’яса?
3. Що таке гідрофлюїдизаційне заморожування м’яса?
4. Які процеси відбуваються в м’ясі в наслідок дії на нього високого тиску?
5. У чому полягає ефективність використання високого тиску для заморожування м’яса?
6. Які явища стримують подальший розвиток заморожування м’яса під дією високого тиску?
7. На якому принципі застосовується процес ультразвукового заморожування м’яса?
8. Що таке заморожування м’яса за допомогою магнітного резонансу?
9. Які процеси відбуваються у тканинах заморожуваного м’яса під дією електричного поля?
10. Якою може бути поведінка заморожуваного м’яса під дією мікрохвиль?
11. Яким чином відбувається заморожування м’яса під дією імпульсної радіочастотної обробки?

Рекомендована навчальна література

1. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
2. Технологія м'ясопродуктів із нетрадиційної м'ясної сировини : підручник / Л. В. Пешук, М. О. Янчева, О. І. Гащук, С. Г. Кириченко ; Нац. ун-т харч. технол., Харк. держ. ун-т харч. та торг. Київ : ЦУЛ, 2017. 300 с.
3. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.
4. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.
5. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
6. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств : підручник / І. Г. Бабанов та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2015. 599 с.
7. Некоз, О. І. Проектування м'ясорізальних вовчків : навч. посібник / О. І. Некоз, О. В. Батраченко ; Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2014. 221 с.
8. Поперечний, А. М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник / А. М. Поперечний, В. О. Потапов, В. Г. Корнійчук. Донецький національний університет економіки і торгівлі, Харківського державного університету харчування і торгівлі. Київ : ЦУЛ, 2012. 312 с.
9. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
10. Toldrá, F. (ed.). (2022). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
11. Hui, Y. H. (ed.). (2012). Handbook of meat and meat processing. CRC press. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
12. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олаборі] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

Розділ 4. ОБРОБКА М'ЯСА ПІД ВИСОКИМ ТИСКОМ

4.1. Молекулярні впливи та промислове застосування

Обробка під високим тиском (HPP – High-pressure processing) є найпоширенішою технологією нетермічної обробки в харчовій промисловості, впровадження якої постійно зростає, і м’ясні продукти становлять приблизно чверть харчових продуктів, вироблених за участю HPP. Інтенсивні дослідження, проведені в останні десятиліття, описали молекулярний вплив HPP на мікроорганізми та ендогенні компоненти м’яса, такі як структурні білки, активність ферментів, міоглобін і хімія кольору м’яса, а також ліпіди, що призвело до характеристики механізмів, відповідальних за більшість зміни текстури, кольору та окиснення, які спостерігаються, коли м’ясо подається на HPP.

Міоглобін – це білок, який знаходиться в м'язових клітинах і відіграє важливу роль в транспортуванні кисню в м'язах.

Ліпіди (інколи жири) – це група органічних речовин, що входять до складу живих організмів і характеризуються нерозчинністю у воді та розчинністю в неполярних розчинниках

Ці молекулярні механізми, які мають великий вплив на безпеку та якість м’язової їжі, всебічно розглянуто. Розуміння молекулярних впливів, викликаних високим тиском, дозволило використовувати технологію HPP, і в даний час HPP застосовується як метод холодної пастеризації для неактивного вегетативного псування та патогенних мікроорганізмів у готових до вживання м’ясних нарізок і для збільшення терміну зберігання. життя, дозволяючи зменшити харчові відходи та отримати ринкові межі в глобалізованій економіці. Тим не менш, інші застосування HPP були детально вивчені, а саме: його використання для розм’якшення м’яса та для формування структури у виробництві обробленого м’яса, хоча ці дві практики майже не використовувалися промисловістю. У цьому розділі зібрано найдоречніші пов’язані знання, які можуть розблокувати

використання цих двох основних процесів перетворення м'яса та сприяти розробці більш здорового чистого обробленого м'яса та швидкого методу досягнення м'якості су-вид. А також обговорюються наукові та технологічні виклики, які ще потрібно подолати, щоб стимулювати розвиток інноваційних застосувань з використанням технології HPP для майбутньої м'ясної промисловості.

Обробка під високим тиском (HPP) є найбільш успішно використаною альтернативною технологією нетермічної обробки в харчовій промисловості. М'ясні продукти становлять важливу частку ринку використання HPP у харчовій промисловості, причому від 25 до 30% від загальної кількості харчових продуктів, оброблених високим тиском, становлять м'ясні продукти. Крім того, кількість промислових установок HPP зростає експоненціально. Сполучені Штати наразі є найбільшим споживачем ринку з приблизно 50 потужностями HPP, призначеними для переробки м'яса. Технологія вдосконалилася за останні 10 років. Виробники обладнання для HPP випустили на ринок резервуари більшого об'єму (тобто від 35 до 525 л), а автоматизація поступово впроваджується в технологічні лінії. Найбільша виробнича одиниця, випущена на ринок, яка, крім того, забезпечує безперервний процес – це гіпербарична маса (1050 л). Однак ця революційна система (наприклад, Hyperbaric 1050 bulk) може обробляти лише рідку їжу, і вона не застосовується до твердої їжі, такої як м'ясо та м'ясні продукти. Останні досягнення в технологічному розвитку систем HPP дозволили підвищити продуктивність, зменшити витрати на обробку, час обробки та споживання енергії, які безпосередньо пов'язані з об'ємом ємностей для обробки, а також дали додаткові переваги, пов'язані з досягнутою міцністю при роботі з розвиненими технологіями з точки зору більш чітких і безпечних процедур, частоти поломок, запасних частин і післяпродажного обслуговування. Сьогодні HPP – це технологія харчової промисловості, яка може використовуватися в м'ясній промисловості для виробництва свіжих, безпечних, інноваційних, поживних, високоякісних, зручних і готових до споживання м'ясних продуктів, які привабливі для споживача та можуть відповідати

майбутнім тенденціям здорового, натурального та мінімально обробленого м’яса.

Використання HPP як нетермічної пастеризації з мінімальним впливом на сенсорну якість і поживну цінність є добре відомим, і різноманітні м’ясні продукти вже отримують переваги від застосування HPP для забезпечення безпечності харчових продуктів і продовження терміну зберігання. Коли HPP використовується в певних готових м’ясних продуктах як ефективний метод для інактивації та контролю патогенних бактерій, таких як *Listeria*, *Salmonella* та *E. coli*, що запобігає спалахам харчових захворювань і відкликанню харчових продуктів, переваги застосування HPP для забезпечення безпека харчових продуктів має велике і незамінне значення для промисловості. Однак застосування HPP за певних умов обробки (температура [T], тиск [P] і час [t]) може вплинути на лабільну природу білків, особливо білків (необробленого) свіжого м'яса. Залежно від застосовуваних умов, HPP призведе до помірного або серйозного несприятливого впливу на зовнішній вигляд м’яса та інші якості, які досі обмежували набагато ширше впровадження технології HPP у м’ясній промисловості.

Існують ще два потенційні застосування HPP, які можуть принести значні переваги м’ясній промисловості. Ці два застосування такі: використання HPP, призначене для розм’якшення м’яса, наприклад, шматочків низької вартості, і його використання для формування структури у виробництві обробленого м’яса. Перше застосування впливатиме на структуру м’яса таким чином, що призведе до зменшення сили зсуву вареного м’яса, а останнє опосередковує процеси гелеутворення, що беруть участь у формуванні стабільних структур, які мають хорошу здатність утримувати воду та жир у обробленому м’ясі.

4.2. Вплив HPP на мікроорганізми

Сире м'ясо та м'ясні продукти вважаються швидкопсувними продуктами харчування з обмеженим терміном зберігання. Протягом багатьох років кілька захворювань харчового походження були пов’язані зі споживанням зараженого

м’яса та м’ясних продуктів, і це було визнано однією з основних причин інфекцій харчового походження. Один із останніх спалахів *Escherichia coli* із понад 190 випадками у Сполучених Штатах у 2019 році був пов’язаний з яловичим фаршем. Інший спалах *Salmonella Newport* у 2018 році був пов’язаний із споживанням продуктів з яловичини і призвело до відкликання понад 12 мільйонів фунтів яловичини в Сполучених Штатах і 400 постраждалих споживачів. HPP як технологія інактивації патогенних бактерій, таких як *Salmonella, E. Coli* та *Listeria*, принесла в м’ясну промисловість чудовий і надійний інструмент для запобігання подібним спалахам без шкоди якості продукції. З історичної точки зору, піонерська робота щодо застосування HPP до мікроорганізмів була виконана Бертом Хайтом у Сполучених Штатах у 1899 році. У своїй роботі він повідомив про збереження молока, яке «зберігається солодким довше» за умови тиску 650 МПа і 10 хв при кімнатній температурі. Збільшення терміну зберігання різних харчових продуктів іноді пов’язане з діями, що включають інтенсивну обробку, яка зазвичай негативно впливає на харчовий склад і органолептичні властивості. HPP як метод консервування після упаковки, націлений на підвищення безпечності харчових продуктів і мікробної якості різних харчових продуктів, а також на те, щоб зміни якості були мінімальними. В наслідок обробки м’ясних продуктів HPP використовується в основному для збереження та продовження терміну зберігання. Тому в декількох літературних джерелах наводяться дані щодо рівня інактивації мікроорганізмів у м’ясних продуктах, підданих умовам HPP. Загалом рівень тиску, який використовується для пастеризації м’яса та м’ясних продуктів, знаходиться в діапазоні від 400 до 600 МПа з коротким часом обробки від 3 до 7 хв. при кімнатній або охолодженій температурі. Міжнародні регулюючі агенції вимагають, щоб процеси пастеризації були розроблені таким чином, щоб забезпечити зниження мікроорганізмів на 5 log. Стандартна обробка HPP (при 400–600 МПа протягом 3–7 хвилин) у більшості випадків призводить до зниження рівня інактивації більш ніж на 4 log для найбільш поширених вегетативних патогенних мікроорганізмів і мікроорганізмів, викликаючих псування, що призводить до

збільшення терміну зберігання та підвищення безпеки. Однак зміна візуального вигляду свіжого м'яса після обробок HPP через денатурацію білка та окислення міоглобіну вважається небажаною. Отже, застосування HPP у м'ясі до теперішнього часу було досить обмеженим стравами та обробленим м'ясом.

4.3. Механізм мікробної інактивації

Помірний тиск (до 180 МПа) знижує швидкість росту та розмноження мікробів і може призвести до сублетальних пошкоджень клітин, тоді як більш високий тиск (понад 200 МПа) може призвести до загибелі клітин. Значні структурні зміни спостерігалися при рівнях тиску вище 400 МПа. Інактивація вегетативних мікробних клітин зазвичай відбувається в діапазоні тиску від 200 до 600 МПа при кімнатній температурі або в охолоджених приміщеннях, що часто використовується в комерційних і промислових сценаріях. Мікробна інактивація, спричинена тиском, і, отже, мікробна стабільність харчових продуктів, завдяки обробці HPP, є результатом комбінації різних факторів, але визначається впливом тиску на мікроорганізми в матриці та можливістю їх відновлення після обробки. Зміни в морфології та субклітинних структурах, а також біохімічні, фізіологічні та генетичні зміни вважаються кількома факторами, що призводять до мікробної інактивації. Через вплив тиску на подвійний фосфоліпідний шар, що призводить до фазового переходу або кристалізації фосфоліпідів, відбувається зміна проникності та текучості мембрани та, таким чином, дестабілізація клітини.

> **Фосфоліпі́ди** – складні ліпіди, що містять у своєму складі багатоатомний спирт, залишок фосфорної кислоти та залишки жирних кислот.

Крім того, стиснення газових вакуолей, відокремлення клітинної мембрани від клітинної стінки, скорочення клітинної стінки з утворенням пор, модифікація цитоскелету та утворення ланцюгів, а також модифікація ядра та

внутрішньоклітинних органел є одними з ефектів. відповідальний за загибель клітин.

Цитоскелет – це клітинний каркас або скелет, що знаходиться в цитоплазмі живої клітини.

Інший аспект, який вважається важливим, пов'язаний з денатурацією та агломерацією клітинних білків, що призводить до розчинення пов'язаних з мембраною ферментів та інактивації ферментів. Як наслідок, метаболічні процеси порушуються. Ефективність інактивації псування ферментів та патогенних бактерій сильно залежить від ендогенних (характеристики матриці) та екзогенних (умови обробки) факторів. Тиск і температура визнані найважливішими параметрами обробки разом із тривалістю обробки, з численними даними, доступними в літературі, які чітко демонструють взаємозв'язок між цими двома параметрами (*P* і *T*). Крім того, мікробна інактивація і, зокрема, денатурація білка під тиском, залежить від внутрішніх параметрів матриці, таких як значення pH, активність води та присутність інших речовин (солі, антимікробних речовин, жиру та інших). Стійкість мікроорганізмів до тиску значно відрізняється в залежності від кількох факторів. Фізіологічний статус відіграє важливу роль, на який впливає історія мікробної клітини в харчовій матриці. Окрім статусу росту, внутрішні та зовнішні фактори харчової матриці можуть спричинити стресові реакції, наприклад, тепловий або холодовий шок, а також осмотичні чи кислотні стресові реакції, які можуть погіршити ефективність інактивації. Збереження HPP за температури навколишнього середовища включає інактивацію більшості вегетативних мікробних клітин і часткове або повне інгібування ключових ферментів. Дріжджі та цвілі більш чутливі до тиску порівняно з прокаріотичними бактеріями.

Прокаріоти – доядерні організми, до яких належать бактерії та синьо-зелені водорості. Ці клітини невеликих розмірів і не містять чітко оформлених, обмежених мембраною органел.

Грамнегативні бактерії (наприклад, *Salmonella, E. Coli*), здається, більш чутливі до HPP, ніж грампозитивні бактерії (наприклад, *Listeria*). Спори

загальновідомі та визнані своєю високою толерантністю до фізичних і хімічних зовнішніх факторів, таких як тепло, хімічні речовини, радіація тощо. Те саме стосується їх стійкості до HPP, оскільки вони можуть витримувати тиск понад 1,0 ГПа за температури навколишнього середовища. Спори, які зазвичай зустрічаються в їжі, належать до видів *Bacillus* і *Clostridium*, спричиняючи псування та погіршення якості харчових продуктів. Уже в 1960-х роках в наслідок досліджень було показано, що спори *Bacillus subtilis* і *Bacillus alvei* можуть виживати в молоці, обробленому при 1034 МПа протягом 90 хвилин при 35 °C, що вказує на їх стійкість до екстремального тиску та повна інактивація спор лише за рахунок тиску неможлива. Таким чином, існують різні підходи до вирішення проблеми інактивації спор у поєднанні з HPP, такі як зниження pH матриці для запобігання проростанню спор, цикл HPP, поєднання тиску з високими та низькими температурами та антимікробними речовинами та деякі інші підходи.

4.4. Вплив HPP на білки

HPP призводить до індукованої тиском модифікації м’язових білків, що дає можливість маніпулювати функціональністю білків і, таким чином, системою м’яса. Майбутня реалізація технології HPP у виробництві м’ясних продуктів базується на правильному використанні тиску для модифікації білків. Велика кількість наукової літератури висловлює зацікавленість у розкритті механізму змін білків, спричинених тиском, і того, як використовувати цей ефект модифікації тиску в обробці м’ясних продуктів. М'ясо складається в основному з трьох груп білкових фракцій: білків сполучної тканини (здебільшого нерозчинних у воді), білків саркоплазми м'язів (розчинних у воді) і білків міофібрилярних м'язів (розчинних у сольових розчинах помірної іонної сили). Колаген, сполучна тканина, яку іноді називають «основною міцністю», таким чином, більше пов’язана з м’якістю м’яса. Однак слід зазначити, що загальний вміст колагену може коливатися від 1 до 15% від сухої маси м’язів. Певний вміст колагену (1% сухої маси), що надходить із внутрішньом’язової сполучної

тканини, можна очікувати навіть у м’язах, очищених від видимих пучків сполучної тканини, що оточують м’язові волокна, і може мати значення для м’язового м’яса. Гемові пігменти та ферменти є найпоширенішими білками у фракції саркоплазматичних білків і складають приблизно одну третину від загальної кількості білків у м’язовій тканині. Міофібрилярна білкова фракція становить дві третини від загальної кількості білків м’язової тканини і складається здебільшого з міозину та актину та менше з α-актиніну, тропоміозину та тропоніну. Міозин є гетерогенним гексамером, побудованим з двох важких ланцюгів (HCs) разом з легкими ланцюгами (LCs) і двох головок. Актин – глобулярний білок, який утворює мікрофіламентні структури.

Мікрофіламентні є найтоншими з структур цитоскелета і складаються з двох тонких актинових ланцюгів, які скручені один навколо одного.
Міозини – це суперродина моторних білків еукаріот, що взаємодіють із мікрофіламентами, забезпечуючи різні форми руху клітини.
Актин – родина білків, що утворюють цитоскелет клітини. Деякі типи актину присутні у м'язовій тканині, де разом з іншим білком – міозином – утворюють актоміозин – основну складову частину скоротливих ниток м'язових волокон.

Міозин і актин є найважливішими функціональними та структурними білками, які сприяють структурі м’яса, і з цієї причини вони були детально досліджені, щоб зрозуміти ефект і механізми, що лежать в основі змін, спричинених тиском.

4.5. Вплив HPP на колір

Оскільки HPP має важливий вплив на білки, то не дивно, що HPP впливає на колір м’яса. Ступінь впливу HPP-обробки на колір свіжого м'яса залежить насамперед від рівня тиску, конкретного м'яса (виду та м'язів), що піддається тиску, і початкового окисного стану міоглобіну (Mb). Навпаки, в’ялене м’ясо реагує на HPP зовсім інакше, ніж свіже м’ясо, оскільки нітрифікація захищає міоглобін від окислення, спричиненого HPP. Види м’яса з високим рівнем Mb («червоне м’ясо») візуально більше впливають на HPP, ніж види м’яса з низьким

рівнем Mb («біле м’ясо»). Це показано на рис. 8. Різні види м’ясних тварин містять різні рівні Mb (мг/г м’яса), причому «біле м’ясо», таке як курка та індичка, містить від 0,01 до 1,5 мг/г, свинина – від 0,6 до 6,0 мг/г, а «червоне м’ясо», наприклад, овець і яловичини від 2,0 до 9,0 мг/г. На рис. 8 видно, що обробка HPP призводить до того, що яловичина змінюється до коричневого кольору, тоді як свинина, індичка та курка набувають блідого вигляду.

Зміни кольору м’яса, спричинені тиском, спричинені денатурацією Mb та інших білків м’яса, зміною або руйнуванням порфіринового кільця та змінами в окисно-відновній хімії Mb.

Порфіринове кільце являє собою тетрапірол, що найбільш інтенсивно поглинає енергію світла з довжиною хвилі 400–410 нм, тобто у фіолетовому спектрі.

Тетрапіроли – природні пігменти з чотирма пірольними кільцями, з'єднаними однокарбоновими одиницями, що з'єднують положення 2 одного пірольного кільця з положенням 5 сусіднього.

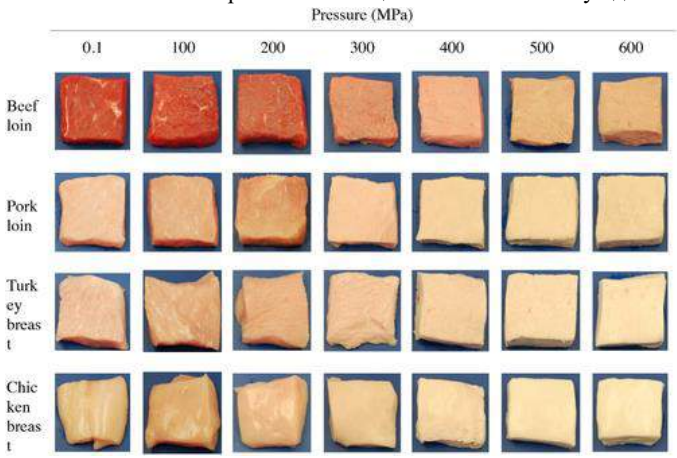


Рис. 8. Зміна кольору корейки яловичини, свинини, грудки індички та курячої грудки при обробці при певному тиску протягом 5 хв при кімнатній температурі (20 °C) [6]

Цей негативний вплив HPP на колір свіжого м’яса було запропоновано позитивно використовувати для виробництва замінників жиру для їх використання в м’ясних продуктах, тобто сире м’ясо птиці, оброблене HPP, стає білим на вигляд і оптично схожим на частинки жиру і використовувався для виробництва салямі зі зниженим вмістом жиру.

4.6. Вплив рівня тиску та температури

Рівень тиску впливає на денатурацію білків. При рівнях тиску <200 МПа спостерігається лише незначна зміна кольору порівняно з м’ясом без тиску (0,1 МПа)), тоді як застосування тиску >200 МПа змусить м’ясо виглядати набагато блідішим, ніж м’ясо без тиску, через денатурацію м’язового білка. і коагуляцію. Повідомлялося, що HPP (особливо рівень тиску >400 МПа) спричиняє зниження водоутримуючої здатності (WHC), а також нижчу розчинність білка саркоплазми внаслідок денатурації міофібрилярних білків, починаючи з приблизно 200 МПа, і Mb приблизно з 400 МПа, що, ймовірно, призводить до спільного осадження. Структурні модифікації призводять до змін у співвідношенні поглиненого, дифрагованого та відбитого світла, що призводить до збільшення розсіювання світла, а отже, до більш блідого вигляду м’яса. За зовнішнім виглядом м’ясо, оброблене HPP, дуже схоже на варене м’ясо, хоча з деякими особливими молекулярними змінами Mb, які можна спостерігати, наприклад, за допомогою вимірювань поверхневого відбиття. Як наслідок адіабатичного нагрівання, HPP викликає підвищення температури води приблизно на 2–3 °C на 100 МПа. Харчові продукти з високим вмістом води зазнають подібного підвищення температури під час HPP. Однак підвищення температури може досягати 9 °C на 100 МПа, точне підвищення залежить від складу відповідного харчового продукту. Ступінь денатурації білка безпосередньо пов’язаний із комбінацією HPP та застосованої температури. Але цікаво, що вплив температури обробки на колір м’яса, як видається, не залежить від впливу тиску. Це навіть незважаючи

на те, що збільшення тиску підвищує температуру води, що призводить до посилення денатурації білка, а отже, збільшення легкості м’яса.

4.7. Вплив HPP на хімічний стан міоглобіну

HPP також впливає на окисно-відновну хімію Mb. Різні окисно-відновні форми міоглобіну – дезоксиMb, оксиMb і metMb – мають різну чутливість до денатурації, спричиненої HPP. Таким чином, пропорції трьох форм Mb, знайдених у свіжому м'ясі до HPP, є дуже важливими щодо змін кольору, викликаних HPP. При рівнях тиску <300 МПа Mb є відносно стабільним до HPP, принаймні якщо дезоксиMb є переважною формою Mb у сирому м’ясі.

Інколи повідомляють про насиченість киснем у результаті HPP, як правило, при низькому та середньому тиску (до 300–350 МПа), тоді як окислення до metMb спостерігається при більш високому тиску (рівень тиску вище 300 МПа). Ці невідповідності у значеннях кольору м’яса, ймовірно, випливають із ряду причин, головним чином початкової форми Mb до HPP, рівня застосованого тиску та часу після обробки HPP, які проводилися інструментальні вимірювання кольору, оскільки початково розроблена форма Mb заліза мала виявлено, що вони зникають протягом першого дня після обробки HPP (від 300 до 800 МПа).

4.8. Ефект затвердіння

На відміну від свіжого м’яса, колір в’яленого м’яса значно стійкіший до HPP. Було припущено, що вже стабільний пігмент в’яленого м’яса, нітрозилміохромоген, згодом стабілізується HPP. Тим не менш, він може бути чутливим до фотоокислення під час зберігання. Було припущено, що HPP призводить до стабілізації нітрозилміохромогену в результаті утворення міжмолекулярних зв’язків з водою.

Хромоген – речовини, що містять хромофори, тобто групи атомів, відповідальних за забарвлення сполук. Хромоген міститься в клітинах організму людини,

тварин і рослин, набуває забарвлення при окисленні і є відновленою формою дихальних пігментів

Оскільки вплив HPP залежить від стиснення води, дивно, що більший вплив на колір було виявлено для м'ясних продуктів з більшим вмістом води. Переважна більшість досліджень, присвячених дослідженню впливу HPP на в'ялене м'ясо, не показують жодних змін у почервонінні, підтверджуючи стабілізуючий ефект HPP, тоді як освітленість має тенденцію до збільшення або залишається стабільною. Що стосується вареної в'яленої шинки, HPP не викликає додаткового збільшення легкості, оскільки м'язові білки вже були в денатурованому стані після приготування. Навпаки, м'ясо, яке було в'ялене, але не приготоване, може дещо збільшити легкість внаслідок денатурації білка, спричиненої HPP. HPP був корисним для мікробіологічно безпечної обробки сирого та невисушеного консервованого продукту, такого як карпаччо, але в деяких випадках спостерігався негативний вплив на колір. Через залежність ефекту HPP від стиснення води, проведення HPP, коли м'ясо знаходиться в замороженому стані, пом'якшить негативний вплив HPP на колір. Зокрема, спостерігається менше збільшення легкості через зменшений ступінь денатурації м'язового білка. Загалом, HPP краще стабілізує колір в'яленого м'яса, якщо HPP застосовується після того, як колір в'яленого м'яса повністю розвинувся.

4.9. Вплив HPP на окислення ліпідів і білків

Попередні дослідження показали, що обробка HPP може викликати реакції окислення в м'ясі. У цьому контексті для запобігання цим реакціям необхідний контроль рівня про- та антиоксидантних сполук. Вплив HPP на окислення ліпідів в основному пов'язаний з реакціями утворення радикалів, наявністю каталізаторів, таких як ферменти, білки або іони металів, і балансом антиоксидантних і прооксидантних сполук (наприклад, кисню) у продукті. Численні автори вказують на те, що окислення ліпідів, викликане HHP, ініціюється наявністю в м'ясі низькомолекулярних сполук заліза та міоглобіну, гемоглобіну та феритину.

Феритин – складний білковий комплекс, що виконує роль основного внутрішньоклітинного депо заліза в людини та тварин. Одна молекула феритину може містити до 4000 атомів заліза.

Кількість радикалів, що утворюються під час обробки HPP, потенційно відповідає за окислення ліпідів і залежить від параметрів обробки (P , T і час витримки), а також від типу м'яса (вид і м'язи). Леткі сполуки, отримані внаслідок окислення ліпідів, менші в яловичині, ніж в інших видах м'яса. Механізми окислення ліпідів, індукованих HPP, недостатньо вивчені. Першим механізмом може бути дія HHP на гемопротеїни з підвищенням доступності заліза.

Гемопротеїн, або **гемовий білок**, – це білок, який містить простетичну групу гема. Вони є дуже великим класом металопротеїнів. Група гема надає функціональні можливості, які можуть включати перенесення кисню, відновлення кисню, перенесення електронів та інші процеси.

Кілька робіт показали, що рівень окислення ліпідів після обробки HPP був нижчим за наявності хелатного агента, такого як етилендіамінтетраоцтова кислота (EDTA). Ці результати, здається, показують, що переважні механізми окислення ліпідів, індукованих HPP, використовують каталіз іонів металів. Хоча ця гіпотеза ще не була повністю підтверджена експериментально, деякі автори припускають, що HPP також може викликати вивільнення іонів заліза. Другий механізм походить від руйнування мембрани, сприяючи ферментативній активності на ненасичених ліпідах з мембрани та в той же час сприяючи каталізу окислення ліпідів катіонами металів. Третій механізм був запроваджений на курячій грудці, показавши, що кінетика радикалів різна при тиску 400 МПа і вище. Ці результати вказують на те, що індукція окислення ліпідів HPP походить від вільних радикалів, які утворюються під час обробки HPP. Що стосується цих механізмів, додавання антиоксидантів, таких як поліфеноли, хелатоутворювачі металів або білки, дозволяє контролювати окислення зразків під тиском. Було доведено, що екстракт розмарину ефективний для зменшення утворення вільних

радикалів у курячому фарші (м’язи грудей і стегон), що знаходиться під тиском 600 МПа.

Вакуумна упаковка, яка часто використовується перед обробкою HPP, також може зменшити вплив HPP на окислення м’яса. Крім того, під час холодного зберігання утворення реакційноздатних речовин тіобарбітурової кислоти (TBARS) (вторинного продукту окислення ліпідів) у м’ясі під тиском можна зменшити за допомогою упаковки з антиоксидантною активністю. Однак незалежно від методу пакування (вакуум, з екстрактом розмарину або поглиначем кисню) і м’яса (курка чи свинина), після обробки HPP окислення ліпідів є вищим на поверхні, ніж у внутрішній частині м’яса.

4.10. Окиснення білків у м'ясі під тиском

Актуальність окислення білка, індукованого HHP, лише нещодавно викликала такий же інтерес, як і окислення ліпідів, про що свідчить зростаюча кількість досліджень, присвячених цій темі. Модифікації білка під дією HPP є складними і є результатом як конформаційних, так і хімічних змін. Як правило, окислення білка може бути викликане безпосередньо активними формами кисню та азоту або опосередковано багатьма видами, включаючи радикали або реактивні альдегіди та кетони. Процес окислення білка включає як реакції карбонілювання, так і реакції окислення тіолів з утворенням дисульфідних містків і утворенням сполук за участю необоротних зв’язків, що є результатом перебудови білка (полімеризації, агрегації та розриву) і модифікації амінокислотних ланцюгів. Хоча утворення дисульфідних містків часто описують як єдиний результат окислення тіолів, існує багато продуктів окислення тіолів, включаючи високореакційноздатні сполуки, здатні дисоціювати та утворювати стабільні сполуки, такі як сульфонова кислота. Доступ окислювальних агентів до їхньої мішені може бути змінений HPP, що може, у деяких випадках, сприяти утворенню сполук від окислення. Таким чином, одночасна оцінка кількох показників окислення білка (утворення або дисоціація дисульфідних містків, утворення карбонільних груп) є важливою для оцінки загального впливу HPP на

білки. Так, було показано збільшення вмісту карбонілів і зниження вмісту вільних тіолових груп у фракції саркоплазматичного білка м'яса свинини (*Semitendinosus*), упакованого під вакуумом і під тиском 600 МПа після 8 тижнів зберігання при 2 °С. І навпаки, вміст вільних тіолових груп у фракції міофібрилярних білків підвищувався під час зберігання.

Тіоли – органічні похідні сірководню, що містять меркапто групу –SH, з загальною формулою RSH.

Обробка HPP також змінює кількість вільних амінокислот, присутніх у м'ясі після зберігання, таким чином, вміст вільних амінокислот був збільшений шляхом застосування помірного тиску, а саме 200 і 300 МПа, а знижений шляхом застосування більш високого тиску 500 МПа. Слід враховувати вплив HPP на ферментативну активність, кофактори та субстрати, але він не може пояснити всі явища. Таким чином, положення амінокислот у структурі білка значною мірою впливає на їх вплив оксидантних факторів. Вплив HPP відчутний від 200 МПа і посилюється при 300 МПа.

4.11. Зв'язок між окисленням ліпідів і білків у м'ясі під тиском

Окиснення ліпідів і білків тісно взаємопов'язані. Існує позитивна кореляція між окисленням ліпідів і білків, індукованим HPP. Ферильні види міоглобіну є кращими каталізаторами окислення, ніж білкові радикали. Окиснення запобігається, коли хелатори є більш ефективними, ніж поглиначі, тому застосування іонів двоваленту, здається, є кращим способом окислення, індукованого HPP. У в'ялених м'ясних продуктах низький вміст води та активність води обмежують окислення білка. Таким чином, протягом 90 днів зберігання при 4 °С стежили за рівнем реактивних речовин з тіобарбітуровою кислотою і 2,4-динітрофенілгідразину в продуктах сухого затвердіння під тиском від 200 до 300 МПа. Вони продемонстрували підвищення рівня окислення ліпідів, але не виявили істотних змін у рівні окислення білка. Однак ці результати

можуть бути наслідком цього конкретного типу м’ясних продуктів, а також низьким рівнем тиску, застосованого в цьому дослідженні. І навпаки, продемонстровано, у в’яленій шинці, обробленій при 600 МПа, окислення ліпідів і білка тісно пов’язані, ґрунтуючись на кореляції між вмістом гексаналю та білкового напівальдегіду.

> **Гексанал**, є алкіл-альдегідом, який використовується у промисловості ароматизаторів для виробництва фруктових ароматів. Його запах нагадує свіжоскошену траву,

Обробка HPP загалом сприяє окисленню ліпідів і білків. Однак механізми окислення також модулюються зовнішніми факторами, такими як тип використовуваної упаковки та комерційний вигляд. У недавньому дослідженні вакуумно упакованого яловичого фаршу, обробленого під тиском від 200 до 500 МПа, поєднаний моніторинг показників окислення ліпідів і білків відразу після герметизації показав позитивну кореляцію між збільшенням вмісту гексаналю, збільшенням карбонільованих білків і зниженням вільних тіолів із явним зниженням реактивних речовин з тіобарбітуровою кислотою. Зменшення цього показника у поєднанні з втратою розчинності білка, ймовірно, походить від взаємодії між сполуками окислення ліпідів і окисленими білками під HPP. Низька концентрація кисню в м’ясі, що зберігається під вакуумом, уповільнює виробництво сполук, отриманих в результаті окислення ліпідів, і швидкість генерації реактивних речовин з тіобарбітуровою кислотою. Так було підтверджено, що сприяння окисленню яловичини залежить від концентрації кисню в атмосфері упаковки. Комерційна презентація м’яса також впливає на сприяння окисленню. Таким чином, окислення в сухій попередньо нарізаній шинці, під тиском і зберіганні при температурі охолодження, було посилене порівняно з ненарізаною шинкою у вакуумній упаковці, ймовірно, через збільшення площі поверхні, що сприяло контакту між киснем і м'ясним продуктом. Тоді відмінності у типі м’яса, упаковці, обробці HPP та типі зберігання призводять до суперечливих результатів. Але загалом застосування

HPP-обробки м’яса впливає на окислення ліпідів і білків, а також на ароматичні профілі під час зберігання в холодильнику, що необхідно ретельно враховувати для певних застосувань при розробці відповідних захисних стратегій для збереження якості смаку продукту. Можна передбачити припущення, що можуть існувати взаємозв’язки між окисленням ліпідів і білків на молекулярному рівні. Однак складність цих хімічних реакцій, а також структури та складу м’ясної матриці робить у багатьох випадках надзвичайно складною точну характеристику конкретних механізмів, що лежать в основі, і в цій галузі необхідні подальші дослідження.

4.12. Холодна пастеризація для забезпечення безпеки та продовження терміну зберігання

М'ясо створює сприятливі умови для розвитку мікробів. Проте необхідно забезпечити безпеку та якість продуктів. Завдяки високому вмісту води та наявності поживних речовин м’ясо є придатним середовищем для росту широкого кола мікроорганізмів, включаючи бактерії псування та патогени. Найпоширенішими патогенами у свіжому та замороженому м’ясі та пов’язаних продуктах є Salmonella sp., серовари ентерогеморагічної кишкової палички (EHEC), Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus та Clostridium botulinum.

Однак існують інші так звані нові патогени, які потенційно становлять ризик для споживачів, наприклад Campylobacter jejuni, Salmonella typhimurium DT, Arcobacter butzleri, Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis, Aeromonas hydrophila та пріони.

Загальновизнано, що HPP більше підходить для зберігання обробленого м'яса, ніж сирого. Як уже обговорювалося, зміни кольору, спричинені HPP, є результатом денатурації міоглобіну. Кілька досліджень повідомляли про значні зміни кольору в діапазоні тиску вище 200-300 МПа, загалом повідомляючи про збільшення яскравості і зменшений червоний колір. Досліджено HPP як можливу

технологію продовження терміну зберігання маринованого м'яса птиці. Дослідження включало кілька штамів псування та патогенних мікроорганізмів, як цільових мікроорганізмів.

Повідомлено, що *Leuconostoc gelidum* продемонстрував найвищу толерантність до тиску і був запропонований як відповідний мікроорганізм, що викликає псування, а *Arcobacter* був запропонований як відповідний цільовий штам для патогенних мікроорганізмів. Деякі сирі м'ясні продукти наразі комерціалізовані. Фарш зазвичай становить більший ризик мікробного зараження, ніж цілі шматки м'яса, оскільки мікробне забруднення зазвичай на поверхні та легко руйнується під час приготування. Голландська компанія Zwaneberg застосовує HPP для інактивації небезпечних бактерій у виробництві тартарського біфштексу, що підвищує безпеку та продовжує термін зберігання без шкоди для якості та смаку. Компанія Cargill зі Сполучених Штатів використовує HPP в котлетах з яловичини, також з метою безпеки, під комерційною назвою «Fressure». Цей тип продуктів використовується в громадському харчуванні і як такий не демонструється споживачеві до приготування, і в цьому випадку зміна кольору після приготування має набагато менше значення. Після приготування пиріжки, оброблені HPP, мають такий же зовнішній вигляд і смак, як і необроблені котлети. Таким чином, HPP являє собою інструмент для забезпечення додаткового етапу дезактивації в ланцюжку постачання деяких придатних для HPP сирих м'ясних продуктів, що дозволяє додатково гарантувати безпечність харчових продуктів.

Консервування харчових продуктів за допомогою HPP – це фізична обробка консервації після упаковки, яка може бути застосована до різних харчових продуктів за умови, що вони мають необхідний вміст води для передачі гідростатичного тиску та відсутність повітряних пустот. HPP успішно використовується в харчовій промисловості з 1990 року для інактивації мікроорганізмів, отримавши схвалення Управління з контролю за продуктами й ліками (FDA), Міністерства сільського господарства США (USDA), Європейського агентства з безпеки харчових продуктів (EFSA), Міністерства

охорони здоров’я Канади та інших регуляторних органів в багатьох країнах. Із загальної кількості близько 420 машин HPP, встановлених у всьому світі на даний момент, близько 30% використовується для консервації варених і в’ялених м’ясних продуктів. Найбільш поширені комерційні продукти, що виробляються HPP, включають в’ялену шинку, ферментовані ковбаси, варену шинку, ковбасний фарш і яловичину.

4.13. Поєднання HPP з іншими бар'єрами

Придатність HPP для обробки після упаковки обробленого м’яса не викликає сумнівів. Однак у випадку сирого м’яса зміни еластичності, твердості, а також кольору при середній і високоякісній інтенсивності були добре задокументовані. Ці наслідки обмежують комерційний потенціал HPP як єдиного рішення для збереження сирого м’яса і подібної їжі, багатої білком. Крім того, слід зазначити, що HPP не є ефективним засобом проти спороутворюючих бактерій, і тому додаткові заходи контролю, такі як додавання нітритів, охолодження під час зберігання, додавання 2% мас./мас. лактату натрію, використання захисних культур або використання киснепроникної упаковки або їх комбінації повинно бути реалізовано для забезпечення харчової безпеки продукту протягом тривалого періоду зберігання в світлі ризику спор *Clostridium Botulinum*, що утворює токсини. Іншою можливістю, яка зараз не є комерційно життєздатною, було б використання тепла в поєднанні з високими температурами для досягнення комерційної стерилізації. Крім того, HPP часто пов’язано з вищими витратами на обробку, головним чином через енергію, необхідну для створення тиску, періодичний характер обробки та нездатність відновити використану енергію. Таким чином, будь-яке зменшення часу обробки та рівня тиску або збільшення об’єму обробки та коефіцієнта заповнення позитивно вплине на ефективність процесу. У цьому контексті «перешкодний» підхід може бути запроваджений як рішення для вирішення проблеми мінімально обробленої їжі з підвищеною безпекою та помірними витратами. Перешкодна технологія являє собою комбінацію різних факторів збереження з

метою виробництва стабільних харчових продуктів, зводячи до мінімуму пошкодження поживних і функціональних властивостей харчових продуктів. Крім того, стійкість мікроорганізмів до комбінованого підходу до консервування нижча, оскільки різні методи консервування можуть мати різні способи дії та по-різному впливати на певну мікрофлору. Теоретично HPP можна поєднувати з декількома підходами, такими як тепло, антимікробні речовини, фаги, зміни в рецептурах та інше.

4.14. Протимікробні засоби

Поєднання HPP з антимікробними речовинами, доданими до харчових продуктів, є концепцією збереження, яку досліджували в різних харчових продуктах. Різні органічні кислоти, рослинні екстракти, бактеріоцини, лізоцим, лактопероксидазна система, хітозан та деякі інші були досліджені на здатність інактивувати або дозволяти контролювати патогени та продовжувати термін зберігання різних продуктів.

Бактеріоцини – специфічні білки, що виробляються деякими бактеріями та пригнічують життєдіяльність клітин інших штамів того ж виду або споріднених видів бактерій.
Лізоцим – дієтична добавка, яка покращує роботу дихальної системи та підвищує опірність організму, ефективна проти бактерій,
Лактопероксидаза – це фермент, який отримують з молока. Він також міститься в слині та слизовій системі людського організму і служить захистом від поверхневої мікробної інфекції.
Хітозан – молекула хітину без ацетильних груп; амінополісахарид 2-аміно-2-дезокси-b-D-глюкан, що утворюється при дезацетилюванні хітину.
Хітин – азотовмісний полісахарид, який хімічно дуже схожий з целюлозою, лише замість гідроксила на кожному кільці із 6 атомів Карбону розташована аміногрупа, в якій один з двох атомів Гідрогену заміщений на ацетильну групу. Вперше був виділений із зовнішніх оболонок тарантулів.

Певні дослідження показали, що комбінована дія HPP і протимікробних препаратів була успішною проти *Listeria monocytogenes, Salmonella enterica, Escherichia coli*, спороутворюючих бактерій та інших мішеней. У моделі м'яса на основі вареної шинки було досліджено використання бактеріоцинів (ентероцинів A і B, сакацину K, педіоцину AcH або низину) у поєднанні з HPP (400 МПа, 10 хв, 17 °C) і розвиток бактеріальної кількості клітин під час зберігання при 4 °C був контрольованим. Порівняно з іншими бактеріоцинами, нижча кількість клітин *Staphylococcus aureus* під час зберігання була отримана при включенні нізину A.

Нізин – поліциклічний антибактеріальний пептид, що виробляється Грам-позитивними бактеріями виду Lactococcus lactis. Нізин використовується як харчовий консервант.

Примітно, що інактивація *E. coli* за допомогою HPP на >1 log вище спостерігалася, коли нізин був присутній у продукті, а кількість клітин, що вижили, залишалася незмінною під час зберігання протягом 61 дня. Було також зареєстровано низьку кількість (10^2 КУО/г) *Listeria monocytogenes* при обробці сакацином, ентероцинами або педіоцином після зберігання протягом 61 дня. Комбінація низину (200 ppm), підкислення та HPP (450 МПа) показала значне зниження кількості мезофільної та психротрофної мікробіоти м'яса птиці (зменшення приблизно на 5–7 log). В окремих дослідженнях вплив HPP (400 МПа, 10 хв) і антимікробних засобів (ентероцинів і лактат-діацетат) на ріст *L. monocytogenes* у нарізаній вареній шинці під час оцінено зберігання в охолодженому стані. Результати дослідження показали, що лактат-діацетат (консервант для м'яса) забезпечував бактеріостатичний ефект проти *L. monocytogenes* протягом 3 місяців зберігання при 1 і 6 °C, навіть при зловживанні температурою. Ефективність нізину, лактатних солей і HPP для пригнічення росту *L. monocytogenes* і *Salmonella* вивчалася в нарізаній вареній шинці. Було виявлено, що синергетичний ефект для лактату калію та HPP (400 МПа, 17 °C, 10 хв) разом із температурою зберігання в холодильнику пригнічує ріст *L.*

monocytogenes і *Salmonella*. Бактеріоцини мають великий потенціал для використання в поєднанні з HPP для збільшення терміну зберігання. В даний час в Європі лише нізин схвалений для використання в харчових продуктах, а педіоцин також схвалений у Сполучених Штатах. У Європі нізин вважається харчовою добавкою, і його необхідно вказувати на етикетці (наприклад, E 234). Перевага використання бактеріоцинів полягає в тому, що вони додаються до продукту в дуже низькій концентрації, і, отже, вони не мають негативного впливу на сенсорну якість, яка є найважливішою для комерційних продуктів. Незважаючи на те, нізин може піддаватися втраті частини своєї антимікробної активності через обробку HPP. Сульфіти та нітрити є ефективними антимікробними речовинами, які зазвичай використовуються в м'ясних продуктах і перешкоджають росту мікроорганізмів, які псуються, і патогенних бактерій. Їх видалення з рецептів м'ясних продуктів може стати проблематичним і вимагає вжиття додаткових заходів контролю під час виробництва (наприклад, робота з дуже суворими мікробними стандартами) та комерційного терміну придатності (наприклад, охолодження) з метою управління мікробними ризиками. HPP як обробка після нарізки та дезактивації після пакування може зменшити мікробне навантаження в кінцевих продуктах, готових до відправлення, і потенційно сприяти забезпеченню терміну придатності, коли до складу не додається сіль, сульфіти та нітрити. Крім того, зменшення або видалення нітритів і сульфітів із рецептур м'ясних продуктів не тільки вплине на ріст мікроорганізмів, але також може викликати додаткові проблеми, які необхідно буде вирішувати належним чином, щоб підтримувати та гарантувати якість продукту. У випадку нітритів потенційний ріст *Clostridium Botulinum* необхідно буде запобігти шляхом застосування додаткових заходів контролю в процесі, а також необхідно буде досліджувати різні підходи. Нітрити також сприяють розвитку традиційного кольору та смаку в'ялених м'ясних продуктів, і можна очікувати відмінностей у цих властивостях у кінцевому продукті, коли нітритів немає або їх менше. Не менш важливою є функціональність обох, нітритів і сульфітів, як антиоксидантів у м'ясних продуктах. Їх відновлення може

призвести до підвищення рівня окислення. У таких випадках може допомогти додавання антиоксидантних (рослинних) екстрактів. Незважаючи на технічні труднощі з виконанням належної та безпечної заміни цих харчових добавок, сьогодні існує споживчий попит на використання меншої кількості добавок та Е-номерів у харчових продуктах, що кидає виклик промисловості. Використання природних екстрактів і методів біоконсервації для контролю росту мікробів у поєднанні з іншими технологіями обробки, такими як HPP, може допомогти переробникам задовольнити цей важливий попит споживачів. Проте, незважаючи на дуже багатообіцяючі результати, про які повідомлялося в літературі щодо інактивації мікроорганізмів за допомогою комбінованих бар'єрів із HPP, здається, що повний потенціал застосування HPP у поєднанні з антимікробними препаратами для боротьби з патогенними та псуючими бактеріями в різних м'ясних продуктах ще не повністю досліджені та розкриті.

4.15. Бактеріофаги

До цього моменту існує обмежена кількість досліджень, присвячених зв'язку між бактеріофагами та HPP.

> **Бактеріофаг** або **фаг** – віруси, які вибірково інфікують бактеріальні клітини та клітини архей. Слово утворене від лат. bacteria та грец. φαγεῖν, буквально – «поїдач бактерій». Бактеріофаги є класичним об'єктом досліджень молекулярної біології.
> **Археї –** одна з груп живих організмів, до якої належать мікроскопічні одноклітинні прокаріоти, що дуже відрізняються низкою фізіолого-біохімічних ознак від справжніх бактерій.
> **Прокаріоти –** організми без ядра клітини. Це відрізняє їх від **еукаріотів**, які мають клітинні ядра і можуть бути як одноклітинними, так і багатоклітинними.

Одне з ранніх досліджень, яке стосується цієї теми, відноситься до 90-х років. Це дослідження показало, що кількість фагів значно зменшувалася при

тиску близько 300 МПа і температурах 25 і 40 °С. У той же час також повідомлялося, що менша фракція втрачає свою інфекційність набагато повільніше. Слід зазначити, що було досліджено кількагодинну обробку тиском, і все ж було зроблено висновок, що стабільна фракція фагів виникає, навіть якщо тиск застосовувався протягом 24 годин. Це може відкрити можливість використання стійких до тиску фагів як методу біоконсервації в поєднанні з HPP. Ці фаги, які залишаються активними після обробки HPP, будуть націлені на певні патогени та діятимуть як додаткова перешкода для пригнічення росту бактерій під час зберігання. Пізніші дослідження повідомили про часткову інактивацію фагів з 2 log-редукцією після 5-хвилинної обробки в діапазоні тиску близько 300 МПа та збільшення інактивації зі збільшенням тривалості обробки. В іншому дослідженні лактококові фаги у збагаченому кальцієм бульйоні нагрівали при 55–80 °С і порівнювали з фагами, обробленими HPP (до 600 МПа). Інактивацію фагів проводили за допомогою нагрівання в діапазоні тиск–температура від 0,1 до 600 МПа та 25–80 °С. Проте толерантність різних бактеріофагів за різних умов обробки знаходилися під пильною увагою до цього моменту. Наприклад, досі доступно лише кілька даних про вплив харчових продуктів або харчових компонентів на стійкість фагів до тиску. Крім того, HPP до 250 МПа не впливало на активність фагів *сальмонел* у фарші свинини. Це перспективний напрямок майбутніх досліджень безпеки харчових продуктів.

4.16. Кухонна сіль

Сіль широко використовується у виробництві харчових продуктів через її різноманітні властивості, такі як смак, текстура та подовження терміну придатності харчових продуктів за рахунок зниження активності води. Проте високе споживання солі (від 8 до 10 г/день) у західних країнах пов’язане з високим кров’яним тиском та іншими серцево-судинними захворюваннями. Велика частина споживаної людиною солі надходить безпосередньо з оброблених харчових продуктів, важливу роль відіграють м’ясні продукти. Відповідно, існує зростаюча тенденція та потреба у зменшенні кількості солі, яка

використовується в м’ясі та інших продуктах, в той же час зберігаючи той самий рівень якості (структури та смаку) і без шкоди для безпеки. Сприятливий вплив HPP на гелеутворення міофібрил може допомогти зменшити вміст солі в м’ясних продуктах. Але при кімнатній температурі ці ефекти відбуваються в основному при низьких рівнях тиску (~200 МПа), де немає великого значення для інактивації мікробів. Таким чином, цей розділ зосереджується на впливі солі на мікробну інактивацію та на те, як HPP може допомогти у забезпеченні безпеки харчових продуктів і подовжити термін зберігання при зниженні вмісту солі. Зменшення концентрації солі не матиме значного впливу на початкове мікробіологічне навантаження, але може вплинути на виживання та здатність мікроорганізмів рости під час зберігання. Стійкість до стресу, викликаного сіллю, залежить від характеристик мікроорганізму та атрибутів матриці. Підвищення концентрації солі з 0,5 до 3,6% у трипсиново соєвому бульйоні підвищило толерантність *Listeria* проти HPP при 600 МПа протягом 2 хв.

Трипсиново-соєвий агар є гранульованим універсальним поживним середовищем. Воно вільне від інгібіторів та індикаторів, має широкий спектр застосування. Комбінація двох пептонів, гідролізату казеїну та соєвих бобів, забезпечує високу поживність, забезпечуючи органічним азотом, амінокислотами та пептидами. Хлорид натрію забезпечує осмотичний баланс, а агар-агар є затверджувачем. Трипсиново-соєвий агар підходить для виділення та культивування широкого спектру мікроорганізмів із різних матеріалів та використовується для контролю якості фармацевтичних продуктів.

У наступному дослідженні ані NaCl, ані лактат натрію істотно не вплинули на час до інактивації *Listeria monocytogenes* , який, навпаки, сильно залежав від початкового навантаження та рівня тиску. Поєднання HPP з іншими перешкодами, такими як додавання органічних кислот або замінників солі, було успішно досліджено як стратегію перешкод для подовження терміну зберігання та безпеки м’ясних продуктів із низьким вмістом солі, таких як сосиски (зі зниженням вмісту солі від 2,5 до 1,3%) і вареної шинки (зі зниженням вмісту солі

від 2,6 до 1,4%). У зв'язку з постійною гостротою та проблемою для галузі щодо зменшення вмісту солі в м'ясних продуктах, подібні стратегії можуть зіграти роль можливих підходів до отримання безпечних продуктів найвищої якості. Особливо це може бути корисно, коли вживається значне зниження вмісту солі (наприклад, 50%), що, ймовірно, потребує методів забезпечення безпеки м'ясного продукту протягом аналогічного терміну зберігання. HPP може бути однією з технологій для вирішення цієї конкретної проблеми, пов'язаної з різким скороченням солі в м'ясних продуктах.

На даний момент HPP використовується кількома м'ясопереробними підприємствами, демонструючи великий потенціал у забезпеченні безпеки м'яса. Проте мікробні клітини, які ушкоджуються лише сублетально, можуть становити потенційний ризик для мікробної якості.

Сублетальні – це мутації, які знижують життєздатність особин і частково або повністю зупиняють розвиток.

Якщо не буде створено жодних інших перешкод, мікробні клітини можуть відновитися, що загрожує безпеці та скорочує термін придатності продукту. Для того, щоб гарантувати стабільність продукту протягом усього терміну придатності, необхідно провести валідаційні дослідження та контрольні випробування під час зберігання.

Валідаційні дослідження – це експериментальний доказ того, що методики придатні для вирішення передбачуваних завдань.

4.17. Вплив HPP на структуру м'яса, що призводить до розм'якшення

Використання HPP для зміни функціональності під час обробки харчових продуктів є цікавим, оскільки зміни властивостей харчових продуктів, оброблених HPP, відбуваються інакше, ніж при обробці з використанням тепла. Показано, що м'язові білки є найбільш чутливими до HPP з усіх харчових компонентів. Розм'якшення м'яса за допомогою HPP залежить від часу післязабійного застосування HPP, типу м'язів і умов обробки HPP, таких як

рівень тиску, температура та, меншою мірою, тривалість обробки. Загальна структура, аж до окремих складових білкових молекул м'язів, є високовпорядкованою, але дуже складною. Оскільки тиск змінює нековалентні взаємодії білків, це призводить до змін властивостей м'язових білків Деполімеризація F-актину широко описана і зазвичай відбувається при нижчому тиску, 100 і 300 МПа.

> **Актин** білок м'язових волокон. Молекулярна маса близько 70 000. Існує у двох формах: глобулярної (Г-актин) та фібрилярної (Ф-актин),

Показано, що асоціація мономерних головок міозину утворює щільні агрегації через гідрофобні зв'язки при тиску від 100 до 300 МПа, а поверхнева гідрофобність не збільшується при більш високому тиску. Це вказує на те, що денатурація головки міозину не відбувається при більш високому тиску. Іншим методом ідентифікації денатурації окремих м'язових білків є диференціальна скануюча калориметрія (ДСК), яка реєструє максимальну температуру, при якій відбувається денатурація білка, а також зміни загальної ентальпії денатурації. Ці параметри пов'язані з чіткими змінами текстури м'яса. Хоча актин має високу термостабільність, він, як видається, є найбільш чутливим міофібрилярним білком, ймовірно, в результаті його деполімеризації при низьких тисках. Чутливість міофібрилярних білків до тиску також залежить від температури обробки, оскільки денатурація відбувається швидше при вищих температурах. М'язові волокна містять багато паралельних міофібрил (діаметром від 1 до мкм), які мають смугастий вигляд. Це пов'язано із ізотропними смугами (І-смуги), які мають світлий вигляд, і анізотропними смугами (А-смуги), які темніші. Втрата структурної організації внаслідок пошкодження саркомерних структур, включаючи І- та А-діапазони, спостерігалася в міофібрилах із збільшенням тиску.

Хоча дослідження впливу HPP були зосереджені на міофібрилярних білках, загалом було показано, що денатурація саркоплазматичних білків впливає на властивості якості м'яса, такі як WHC, і зниження розчинності

саркоплазматичних білків при застосуванні Повідомлялося, що HPP корелює зі зниженням WHC. Вважається, що ця нерозчинність окремих білків саркоплазми є одним із механізмів, що впливають на зміни в м'язах, спричинені тиском. Саркоплазматичні білки корелювали зі зниженим WHC, але, безсумнівно, зниження WHC, ймовірно, було також пов'язане із загальним впливом на денатурацію білка, включаючи міофібрилярні білки, руйнування м'язових структур і їх вплив на розділене утримання води в м'ясі.

Колаген, який є основним компонентом сполучної тканини, має структуру потрійної спіралі і в основному стабілізується водневими зв'язками. Оскільки водневий зв'язок посилюється під тиском, було припущено, що HPP не сильно впливає на колаген. Однак повідомлялося про протилежні результати, і вплив тиску на сполучну тканину залежить від температури застосування тиску, а також від стану екстракції колагену, тобто від тиску, застосованого до непошкодженої м'язи або ізольованої сполучної тканини. Використовуючи DSC, не виявили жодного впливу на колагеновий компонент, коли тиск (від 0,1 до 800 МПа протягом 20 хвилин) застосовували до яловичого м'яза при 20 °C. Це дослідження також показало, що коли тиск поєднувався з теплом (від 40 до 60 °C), температура переходу та ентальпія колагену зменшилися на 400 МПа при 60 °C і все ще були помітні при тиску від 600 до 800 МПа при 60 °C. З іншого боку, на основі досліджень яловичини *sternomandibularis* дійшли висновку, що обробка тиском у поєднанні з теплом (200 МПа при 60 °C протягом 20 хвилин) стабілізувала колагеновий компонент зі збільшенням ентальпії порівняно з сирими м'язами. Було також показано, що HPP захищає колаген від подальшої теплової денатурації. На сьогоднішній день результати є непереконливими, оскільки вони відрізняються щодо стабілізації/дестабілізації колагену під час обробки HPP, і необхідні подальші дослідження для прояснення цього питання. Мікроскопічні дослідження внутрішньом'язових структур сполучної тканини великої рогатої худоби показали порушення ендомізію і поділ перимізіального листка на колагенові волокна при HPP (до 500 МПа) застосовували при низьких температурах (від 4 до 8 °C).

Ендомізій – це пухка сполучна тканина, що оточує гладком'язові клітини.

Було запропоновано, що HPP м’язів попереднього стану маніпулює гліколізом на ранніх посмертних етапах, що в подальшому впливає на текстуру.

Гліколіз – ланцюг із десяти реакцій, внаслідок яких глюкоза $C_6H_{12}O_6$ перетворюється на піруват, $C_3H_3O^-_3$ з утворенням АТФ та НАДН. У аеробних організмів гліколіз йде перед циклом трикарбонових кислот та ланцюгом переносу електронів.

Показано, що тиск від 100 до 200 МПа, застосовуваний до попередньої яловичини та баранини, викликає інтенсивне скорочення м’язів в результаті вивільнення кальцію, що прискорює гліколіз, а також швидке зниження pH і зменшення сили зсуву кінцевого продукту, більшість ймовірно, через фрагментацію та дезорганізацію міофібрилярної структури. Нещодавно розглянуто застосування HPP до м’яса до та після горіння з метою розм’якшення м’яса. Дослідження із застосуванням HPP до свинини попереднього періоду показали, що HPP частково пригнічує посмертний метаболізм через денатурацію гліколітичних ферментів, що призводить до вищого pH протягом 24 годин зберігання в охолодженому стані. Нещодавні дослідження яловичини, яка була попередньо зріла, показали, що тиск у 175 МПа через 1 день посмертно виробляв м’ясо ніжним або більш ніжним, ніж м’язи, витримані протягом 28 днів, і що м’язи, оброблені тиском, мали нижчу фрагментацію міофібрил-індексу, коротші саркомери, знижену активність кальпаїну-1 і вищий pH через 24 години.

Кальпаїн-1 – білок, який кодується геном CAPN1, розташованим у людей на короткому плечі 11-ї хромосоми.

Подібно до звітів у 1970–1980-х роках, мікроскопічна оцінка м’яза перед закріпленням під тиском показала структурну дезорганізацію саркомерних компонентів. Вищий pH через 24 години пояснюється втратою активності глікогенфосфорилази з саркоплазми, що призведе до зупинки гліколізу. Було постульовано, що механізм розм’якшення попереднього м’яса HPP відрізнявся від механізму розм’якшення охолодженого витриманого м’яса, і що сприяючим фактором розм’якшення було фізичне порушення структури м’язів. Багато

досліджень привели до гіпотези про те, що деполімеризований актин може вільно зміщуватися в області А-діапазону та зв'язується з міозином при зниженні тиску. Ця теорія була зосереджена на дезагрегації актину, а також інших білків І-смуги, таких як тропонін і тропоміозин.

Тропонін – це білок, який є компонентом скоротливого апарату поперечно-смугастих м'язів, що допомагає м'язовим волокнам актину та міозину рухатися один відносно іншого.

Тропоміозин – фібрилярний білок, який являє собою паличкоподібну молекулу довжиною приблизно 40 нм, шириною 20 Å і молекулярною масою від 65 до 70 кДа. Складається з двох перевитих α-спіралей та розміщений між двома сусідніми ланцюгами актину

Однак структура Z-диска не була змінена. Крім того, ці зміни в саркомерній структурі не корелювали з покращенням м'якості вареного (80 °C протягом 60 хвилин) м'яса. Інші білки, що належать до цитоскелетних структур, які мають зв'язувальну функцію в структурі м'язового волокна, було запропоновано залучити до розм'якшення заднього м'яса за допомогою HPP.

Подібним чином японські дослідники повідомили про дезорганізацію структури м'язів кролика під впливом HPP (100–300 МПа) при температурах навколишнього середовища, що призвело до розм'якшення. Ці зміни призвели до висновку, що тендерізація заднього м'яза за допомогою HPP була викликана механізмами, відмінними від механізмів старіння м'яза. Незважаючи на те, що було виявлено модифікації ультраструктури заднього м'яза *двоголового м'яза стегна* яловичини при обробці 325 МПа при 10 °C протягом 4,3 хв, також повідомлялось про набряк і руйнування лізосом, що призвело до збільшення у вільних лізосомальних ферментах.

Лізосома – одномембранна органела, що містить гідролітичні ферменти і виконує функцію внутрішньоклітинного розщеплення макромолекул. Лізосоми виконують у клітині такі функції: розщеплення внутрішньо- та позаклітинних відходів, та старих органел, знищення патогенних

мікроорганізмів, забезпечення клітини поживними речовинами.

У цих серіях досліджень не спостерігалося покращення чутливості. Таким чином, ані зміни в ультраструктурі, ані підвищений протеоліз лізосомальними ферментами не призвели до тендеризації в умовах HPP (до 520 МПа при 10 °C протягом 260 с), які використовувалися в цих дослідженнях.

4.18. Умови обробки, необхідні для досягнення тендеризації

HPP, застосований до м'язів попереднього зміцнення, ефективний для розм'якшення, коли застосовується тиск близько 200 МПа протягом до 4 хвилин при 30–35 °C. Величина тиску, як видається, залежить від виду, з тиском нижче 200 МПа для яловичини та баранини та вище 200 МПа (до 225 МПа) для свинини. Цей оптимальний тиск для розм'якшення також може бути пов'язаний із тиском, який впливає на колір м'яса. Відомо, що тиск вище 200 МПа денатурує міоглобін, і тому це важливо, особливо в м'ясі з вищим вмістом міоглобіну, щоб запобігти будь-якому погіршенню кольору внаслідок обробки. Показано, що навіть незважаючи на те, що тиск при 250 МПа дав більш ніжну яловичину *longissimus thoracis* попереднього сорту, ніж тиск при 175 МПа, колір стейків після обробки 250 МПа був світлішим і певною мірою неприйнятним для споживачів. Ранні дослідження м'язів попереднього стану показали підвищену чутливість, коли *довгий м'яз спини* яловичини піддавався тиску 103 МПа (85% покращення, а також у яловичини (64%) і овець (70%) *longissimus dorsi*. Нещодавно це покращення м'якості було підтверджено: на 60% нижче значення сили зсуву в стейках з яловичини, оброблених під тиском 175 МПа та витриманих протягом 1 дня. Однак цей ефект розм'якшення HPP був втрачений після 28 днів витримки, причому контрольне м'ясо та м'ясо після HPP мали однакову м'якість у той час. Маніпуляції з гліколізом за допомогою HPP (175–225 МПа, 10-35 °C, 5–180 с) у попередніх свинячих боках або первинних шматках (*longissimus dorsi*) призвели до покращення ніжності (до 30%) свинячих відбивних. Поліпшення м'якості попередньої яловичини *longissimus*

dorsi завдяки HPP супроводжувалося зменшенням втрат при варінні. Таким чином, загальна втрата вологи під час HPP не відрізнялася від контрольної групи. Інші дослідження HPP свинячого м'яза перед закріпленням показали, що втрата крапельної рідини та втрата при варінні були зменшені, що вказує на збільшення WHC.

Оптимальна чутливість заднього м'яза спостерігається при тиску від 100 до 200 МПа в поєднанні з температурою від 60 до 80 °C. Якщо вищий тиск (> 200 МПа) при 60 °C застосувати до задньої *щелепи* яловичини, було показано, що тиск вище 400 МПа за цієї температури робить м'ясо жорсткішим. Загальна тривалість обробки тиском становить до 30 хвилин у таких дослідженнях, але набагато коротший час (5 хвилин) також доведено, що призводить до тендеризації. Було проаналізовано 13 досліджень HPP заднього м'яса, починаючи з ряду м'язів різних видів (яловичина, баранина, свинина та курка), і в усіх дослідженнях покращення м'якості коливалося від 30% до 80%, коли застосовувався тиск від 150 до 400 МПа при температурах вище 50-60 °C. На додаток до 50% зменшення пікового значення сили *напівперетинчастого м'яза* яловичини та *двоголового м'яза стегна* за тиску 200 МПа при 76 °C протягом 20 хвилин, також продемонстровано значне збільшення виходу продукту. При застосуванні тиску при відносно високих температурах (від 60 до 76 °C) втрата ваги стейків, оброблених під тиском, була значно зменшена: приблизно 8% при 76 °C порівняно з 30% у контрольному зразку, обробленого лише нагріванням. Це підвищення позитивних показників пояснюється HPP.

Як обговорювалося для HPP попереднього м'яза, тиск, що застосовується до м'яса після горла, також впливатиме на колір м'яса. Очевидна зміна кольору яловичого м'яза стає очевидною, коли тиск перевищує 200 МПа, навіть при низьких температурах, але буде помітною, якщо одночасно застосовуються високі температури. Ця зміна кольору, як правило, проявляється у вигляді збільшення яскравості і зменшення почервоніння. Ця зміна кольору є обмеженням для використання HPP для м'яса та його розм'якшення. Застосування комбінованого процесу тиску й тепла для виробництва

інноваційних продуктів із доданою вартістю із гарантованою харчовою якістю, таких як м’ясні продукти, харчові розчини та переваги громадського харчування, має потенціал у м’ясній промисловості. Однак однією з проблем для комерціалізації цієї технології розм’якшення м’яса є досягнення цільових температур, необхідних для ефективності процесу. Розроблено контейнер і систему для термообробки HPP. Ця багатошарова апарат придатний для використання з поточними комерційними установками HPP (машини холодної HPP) і забезпечує необхідні умови для розм’якшення м’яса. Апарат оптимізує збереження тепла за рахунок теплоізоляції та вибіркового адіабатичного нагріву багатошарової конфігурації, ущільненої плаваючим поршнем, який блокує холодну воду та забезпечує передачу тиску.

4.19. Формування структури обробленого м'яса

Беручи до уваги вплив HPP на білки та міофібрилярне гелеутворення, HPP насправді є дуже цікавою технологією обробки для покращення функціональних властивостей у виробництві обробленого м’яса. HPP можна використовувати для розм’якшення цілих шматків м’яса. Використання HPP для формування структури в м’ясних системах є врівноваженою дією між солюбілізацією та агрегацією білків, оскільки тиск збільшує розчинність міофібрилярних білків, тим самим покращуючи їхні функціональні властивості, але тиск також призводить до денатурації та агрегації білка, тим самим погіршуючи розчинність основних міофібрилярних білків. білки, міозин і актин. Таким чином, використання HPP для підвищення розчинності білка та індукування агрегації було ретельно вивчено як альтернативний метод виробництва твердих м’ясних продуктів, особливо ковбас. Слід зазначити, що м'ясо подрібнюють як початковий етап процесу приготування м'ясних клярів, таким чином, перед обробкою HPP відбувається механічне руйнування ниток.

Зазвичай для забезпечення технологічних, мікробних і сенсорних властивостей у виробництві ковбас використовується висока концентрація солі

(NaCl > 1,5%). Завдяки цьому охоплюються бажані функціональні та харчові характеристики якості, такі як зв'язана консистенція, тверда текстура та зв'язування води. Взаємозв'язок між їжею та здоров'ям привертає все більшу увагу, що ставить перед м'ясною промисловістю виклик виробництва м'ясних продуктів із низьким вмістом солі. Здатність HPP сприяти солюбілізації та гелеутворенню білків була досліджена для сприяння або подальшого покращення зв'язування м'яса, що є прийнятним у виробництві ковбас, і, можливо, для уникнення або значного зниження вмісту солі. Обробка HPP при 350 МПа (6 хв, 20 °C) мала значний ефект затвердіння свинячого кляру без солі та фосфатів. Однак додавання солі (1,5 і 3,0% NaCl) і поліфосфату (0,25% і 0,5% $Na_4P_2O_7$ /$Na_5P_3O_{10}$) нейтралізувало ефект тиску, і цього разу обробка HPP мала ефект пом'якшення на текстуру виробу. Було припущено, що денатурація білка під тиском відбувається інакше від денатурації, спричиненої сіллю, і, отже, тип денатурації був важливішим, ніж кількість денатурованих білків, для визначення текстури. Навіть коли тиск і тепло поєднувалися (400 МПа, 55 і 70 °C, 30 хв), було виявлено значне зниження текстурних властивостей свинячих ковбасок із сіллю та фосфатом у порівнянні з лише термічною обробкою. Попередня обробка HPP (150 і 300 МПа, 5 хв, 20 °C) яловичини перед приготуванням ковбаси (1,5 або 2,5% солі та 0,25% поліфосфату) і варінням (75 °C, 30 хв) також призвела до нижчої твердості для сосиски з високим вмістом солі. Виявилося, що як низький рівень тиску (150 МПа), так і низький рівень солі (1,5%) призвели до покращення сосисок щодо втрат при варінні, стабільності емульсії, текстури та смаку. Збільшення вмісту солі до 1,2% підвищило характеристики текстури та призвело до грубої, дезорганізованої структури (з 0,6 і 0,8% солі) або жорсткої, суцільно-ланцюгової морфології (з 1,0 до 1,4% солі). У поєднанні з сенсорним аналізом було зроблено висновок, що вміст 1,2% NaCl був достатнім для загальної прийнятності. Реологічні властивості свинячих ковбас із низьким вмістом солі (1%) були покращені за рахунок тиску 200 МПа перед термічною обробкою. Подібна яловича ковбаса з низьким вмістом солі (1%) з покращеною текстурою та сенсорною прийнятністю була отримана шляхом обробки HPP (до 400 МПа, 2

хв, 10 °С) після варіння (76 °С, 25 хв), з найкращим утримуванням води досягається при 200 МПа. Контроль градієнта тиску помітно вплинув на функціональні властивості свинячого кляру, і, таким чином, використовувався для зниження вмісту солі на 50% без погіршення якості м'ясного гелю. Приклад традиційної німецької ковбаси Bratwurst, виготовленої з різною кількістю кухонної солі (NaCl), доданої в рецептуру (1% і 2%), і застосуванням HPP (200 МПа протягом 4 хвилин при кімнатній температурі). Зниження вмісту солі до 1% має жахливий вплив на структуру Bratwurst, тоді як цей шкідливий ефект врівноважується цілеспрямованим використанням обробки HPP.

Існує зростаючий інтерес до використання сполук із царства рослин як через аспект здоров'я, так і через занепокоєння щодо очікуваного світового дефіциту білка м'яса. Показано, що використання функціональних інгредієнтів рослинного походження є підходом до покращення текстури м'яса при зниженні вмісту солі в м'ясних продуктах HPP. Додавання морквяної клітковини (0,5 і 1,5%) або картопляного крохмалю (2 і 3,8%) до емульгованого м'ясного тіста дозволило знизити вміст солі до 1,2% (без додавання фосфатів) у обробленому HPP (400, 600) або 800 МПа, 5 хв, 5 або 40 °С) свинячих сосисок. Крім того, додавання крохмалю або клітковини мало більший вплив на текстурні властивості порівняно з рівнем солі. Зв'язування з білками посилювалося обробкою HPP і додаванням крохмалю або клітковини, що покращувало твердість (причому крохмаль був кращим за клітковину). Крім того, синергетична дія м'якого нагрівання (40 °С) під час обробки HPP ще більше посилила твердість ковбаси. Подібним чином можна було замінити частину NaCl (від 2,5 до 1,0%) β-глюканом у ковбасах з курячого м'яса після термостатування (400 і 600 МПа, 30 хв, 40 або 60 °С). Однак було виявлено, що включення гідроколоїдів, таких як ксантанова камедь, камедь ріжкового дерева та карбоксиметилцелюлоза, послаблює гелеву мережу після жорсткої обробки HPP (600 МПа, 40 хв, 50 °С) ковбас із м'яса страуса. Інші види інгредієнтів також були досліджені для зменшення та заміни солі в м'ясних продуктах HPP. Було повідомлено, що комбіноване використання мікробної трансглутамінази з

яєчним білком і обробкою HPP (700 або 900 МПа, 30 хв, 40 °C) призвело до отримання гелів з курячого м’яса зі зниженим вмістом солі (і без фосфатів) і покращеними структурними властивостями. порівняно з м’ясними гелями без ферменту або лише термічно обробленими. Також повідомлено про позитивну заміну NaCl на лактат калію в процесі виробництва реструктурованих сушених шинок із застосуванням HPP (600 МПа, 6 хв, 10 °C).

Усі ці приклади демонструють застосовність технології HPP для продуктів промислової переробки м’яса. Загалом, використання HPP у виробництві обробленого м’яса пояснюється здатністю HPP покращувати функціональні властивості міофібрилярних білків шляхом денатурації, солюбілізації, агрегації та гелеутворення, тим самим впливаючи на текстурні властивості, WHC та сенсорне сприйняття. Насправді на кінцевий результат впливає природа системи тісто/білок (тип м’яса та особливий склад, особливо використання зв’язуючих речовин, таких як клітковина, крохмаль та інші джерела білка) та параметри HPP (такі як рівень тиску, тиск градієнт, тривалість обробки, температура, тиск і комбінації температур, а також конкретна послідовність нанесення).

4.20. Приклади технологічного обладнання для обробки м’яса під високим тиском

Асортимент промислового обладнання для обробки фасованої продукції під високим тиском Hiperbaric In-Pack є найширшим на ринку. Він складається з обладнання з резервуарами або обробними камерами різної місткості, що відповідає вимогам усіх наших клієнтів, починаючи від нових компаній чи малих і середніх підприємств, аж до великих транснаціональних компаній. Усе обладнання працює з максимальним тиском 600 МПа. Системи In-Pack запобігають ризику повторного забруднення продукту, оскільки він обробляється в остаточному пакуванні. Його горизонтальний і ергономічний дизайн спрощує монтаж і роботу. Hiperbaric є єдиною компанією, яка пропонує можливість вибору інтегрованої конфігурації самої машини (з

інтенсифікаторами на платформі над машиною), зменшуючи поверхню рослини та полегшуючи її інтеграцію в харчову промисловість.

Обробка високого тиску – це метод холодної пастеризації, який полягає в тому, що продукт, попередньо запечатаний в гнучкій і водостійкій упаковці, піддається впливу високого рівня гідростатичного тиску (тиск, що передається водою) до 600 МПа протягом декількох секунд до декілька хвилин

Hiperbaric 55 (рис. 9) є ідеальним першим кроком у бізнесі HPP із ємністю 55 літрів і діаметром 200 мм. З пропускною здатністю близько 270 кг/год це ідеальний агрегат для малих і середніх підприємств, харчових компаній, що працюють на ринках, сезонного виробництва або науково-дослідних центрів.

Рис.9. Hiperbaric 55 [7]

Рис. 10. Hiperbaric 525 [8]

Hiperbaric 525 (Рис 10.) – це найбільша комплектний агрегат, який відповідає вимогам клієнтів із найбільшими виробничими середовищами. Завдяки місткості 525 літрів і великому діаметру 380 мм він може видавати близько 3210 кг/год при 600 МПа. Його потужність і низька вартість обробки не мають собі рівних.

Питання для самоконтролю

1. Яким чином високий тиск впливає на мікроорганізми та ендогенні компоненти м’яса?
2. За яких умов використовують обробку м’яса високим тиском у харчовій промисловості?
3. Як високий тиск впливає на мікроорганізми, які присутні у м’ясі?
4. У чому полягає механізм мікробної інактивації в наслідок обробки м’яса високим тиском?
5. Чи відбувається зміна білків у м’ясі під дією високого тиску?
6. Як впливає рівень тиску та температури на якісні властивості м’яса?
7. Якими ефектами супроводжуються зміни в м’ясі під дією високого тиску?
8. Чи існує зв'язок між окисленням ліпідів і білків у м'ясі під тиском?
9. Які протимікробні засобі використовуються разом з високим тиском в наслідок обробки споживчого м’яса?

10. Як обробка високим тиском впливає на розм’якшення м’яса?
11. Які умови обробки, необхідні для досягнення тендеризації м’яса?
12. Яким чином формуються структури обробленого високим тиском м'яса?

Рекомендована навчальна література

1. Янчева М., Пешук Л., Дроменко О. Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса і м'ясних продуктів. К.: Центр навчальної літератури, 2017. 304 с.
2. Маньковський А. Я. Технологія продуктів забою тварин : підручник / А. Я. Маньковський, Т. А. Антонюк. К. : Агроосвіта, 2014. 336 с.
3. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
4. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.
5. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
6. Сухенко, Ю. Г. М’ясо-молочне обладнання первинної переробки сировини : практикум : навч. посібник / Ю. Г. Сухенко, В. Ю. Сухенко, М. М. Муштрук ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Ю. Г. Сухенка ; Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ : Компринт, 2015. 386 с.
7. Поперечний, А. М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник / А. М. Поперечний, В. О. Потапов, В. Г. Корнійчук. Донецький національний університет економіки і торгівлі, Харківського державного університету харчування і торгівлі. Київ : ЦУЛ, 2012. 312 с.
8. Toldrá, F. (ed.). Handbook of meat processing. John Wiley & Sons, 2010. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/mbpcgh
9. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
10. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
11. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олаборі] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

Розділ 5. ОПРОМІНЕННЯ М'ЯСА: ПЛИВ НА ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКУ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

5.1. Форми опромінення

Енергія випромінювання класифікується на три категорії: електромагнітне випромінювання (гамма-промені, рентгенівське випромінювання), випромінювання заряджених частинок (альфа-промені, бета-промені, електрони пучок, фотони) і незаряджені частинки (нейтрон). Іонізуюче випромінювання в основному використовується для забезпечення безпеки харчових продуктів: один – це енергія випромінювання генерується з радіонукліда радіоактивного джерела, а інший виробляється з прискорювача або ядерного реактора. Гамма-промені і рентгенівські промені мають відносно короткі хвилі (високої енергії) серед електромагнітного спектру в тому числі радіохвилі, мікрохвилі, видиме світло, ультрафіолет і так далі.

Прискорений електрон – це заряджена частинка з великою енергією. Таким чином, види випромінювання, які можуть бути застосовані до м'яса та м'ясних продуктів – це гамма-випромінювання, рентгенівське та прискорений електрон. «Іонізуюче» випромінювання має здатність витісняти електрони з молекул і перетворюють їх на електрично заряджені іони. Гамма-випромінювання має досить сильну дію здатність іонізувати молекули, розташовані глибоко в цільовій їжі з радіоактивного ізотопу. Тому керувати ним слід безпечно. З іншого боку, прискорені електрони та рентгенівське випромінювання генеруються машинним процесом. Електронний промінь спрямований лише на цільову їжу, а енергоефективність вище ніж у гамма-променів. Найбільш доступною формою опромінення їжі є гамма-випромінювання або прискорені електрони. Використання рентгенівського випромінювання для опромінення харчових продуктів було перевірено для комерційного використання, а також у дослідженнях, але його ефективність є 70–80% гамма-випромінювання та <30% прискорених електронів. Незалежно від джерел випромінювання, кількість

іонізуючої енергії, поглиненої матеріалами мішені, вимірюється як грей (Гр); 1 Гр дорівнює 1 Дж/кг. Таким чином, дозування 1 кГр означає, що опромінена їжа отримує 1000 Дж/кг харчової маси. Як правило, мінімальна доза застосовується до їжі для досягнення мети опромінення та підтримувати якість оброблених харчових продуктів. Ефективність опромінення залежить від типу використовуваних джерел випромінювання, інтенсивність випромінювання та цільові мікроби. Нижче наведено відносні переваги та недоліки три форми опромінення їжі.

Гамма-випромінювання

Гамма-випромінювання є найбільш широко використовуваною формою для опромінення харчових продуктів і виділяється при самовільному розпаді радіонукліда, тобто радіоактивного ізотопу. Гамма-промені класифікуються як фотони і не мають маси його дуже високий рівень енергії. Гамма-промені – це фотони вищої частоти, ніж ультрафіолетове або рентгенівське випромінювання, і можуть проникати в цільову їжу до глибина 60–80 см. Таким чином, гамма-випромінювання підходить для «постстерилізації» упакованих харчових продуктів, і занепокоєння щодо повторного забруднення кінцевої продуктів є мінімальною. Джерелом гамма-випромінювання для опромінення харчових продуктів є кобальт-60 і цезій-137, схвалені FDA США та Міжнародними стандартами опромінення харчових продуктів. Co-60 виділяє два гамма-промені одночасно з енергіями 1,17 і 1,33 МеВ і має період напіврозпаду становить 5,26 року зі зниженням активності на 12,35% на рік. Co-60 в основному використовується для стерилізації різних медичних приладів і для боротьби з патогенами в харчових продуктах. Co-60 міститься в тонкому циліндрі з нержавіючої сталі (так званий олівець). Оскільки Co-60 в олівцях не буде контактувати з опроміненою їжею, він не стає радіоактивним. Однак Cs-137 використовується рідко через великі розміри обсяги джерела недоступні.

Електронний промінь

Електронний промінь – це високоенергетичний потік електронів, який генерує електрон прискорювач, подібний до телевізійних трубок. Електронний

промінь має зовсім інші механізми, ніж гамма-промені. Електрони можна прискорювати до 10 МеВ, що приблизно у вісім разів перевищує рівень енергії гамма-випромінювання промінь. Машиною для виробництва електронного променю можна легко керувати за допомогою системи ввімкнення/вимкнення, оскільки вона не використовує жодних радіоактивних джерел. Однак електронний промінь має подібну ефективність для знищення мікроорганізмів у опроміненому м'ясі. Електронний промінь має переваги з точки зору простоти управління процесом, швидкістю опромінення, точністю, енергоефективністю та споживачем прийняття порівняно з гамма-випромінюванням і застосування електронного променя активно випробуваний у багатьох розвинених країнах. Єдиним недоліком електронного променю є його обмежена проникаюча здатність. Оскільки електрони мають малі маси і швидко сповільнюються, коли вони потрапляють у продукт, електрони (10 МеВ) може проникати в м'ясо на глибину лише 3,81 см. Таким чином, на нього можна подати заявку поверхнева стерилізація м'яса або тонких м'ясних продуктів. Щоб подолати можливість короткого проникнення, одночасне використання двох розташованих променів навпаки зазвичай використовується.

Рентгенівське опромінення

Рентгенівську установку можна розглядати як більш потужний варіант машини, які можна легко знайти в лікарнях. Рентгенівське випромінювання утворюється шляхом зіткнення електронів високої енергії з металевою (вольфрамовою) мішенню без використання будь-якої радіоактивні матеріали. Рентген розроблений для подолання низька проникаюча здатність електронного променю. Проникаюча здатність рентгенівського випромінювання нижча, ніж гамма-випромінювання, і установку можна вільно перемикати шляхом включення і виключення. Рентген розглядається як нова технологія з перевагами гамма-випромінювання промінь і електронний пучок, але рентгенівське випромінювання має відносно низьку енергетичну ефективність. Вибір джерела опромінення може визначатися метою обробки (пастеризація, стерилізація,

інсектицид або контроль росту), характеристиками мішені харчових продуктів (товщина і щільність цільового матеріалу, ступінь забруднення, вологість вміст, швидкість погіршення, щільність, пакування або стерилізація поверхні), енергетичні характеристики (здатність до проникнення, енергоефективність або контроль джерела), мінімальна доза, однорідність дози, швидкість обробки та економіка.

5.2. Спосіб дії

Мікроорганізми в харчових продуктах дуже чутливі до опромінення. Коли іонізуюча енергія проходить через їжу, деякі атоми або молекули в їжі поглинають енергію і стають реактивними іонами, вільними радикалами або пошкоджуються. Вільні радикали мають високу реакційну здатність і руйнують клітинні компоненти. Цей вид випромінювання називається іонізуючим випромінюванням і використовується для знищення комах, хвороботворних бактерій і паразитів у м'ясі. Найбільш прямою мішенню енергії іонізації є молекули ДНК. Викриття бактеріальних клітин до 0,1 кГр опромінення призвело до 2,8% пошкодження ДНК, тоді як 0,14% ферментів і 0,005% амінокислот були змінені тим же доза. Втрата реплікаційної здатності клітин викликана пошкодженням ДНК. Навіть незначні зміни в ДНК бактеріальної клітини можуть призвести до загибелі бактерій. Розрив зв’язків у ДНК призводить до втрати здатності клітини тиражувати. Біологічні механізми іонізуючого випромінювання можна пояснити пряма теорія та непряма теорія. Радіація знищує мікроорганізми шляхом інактивації генетичного матеріалу живого клітини шляхом прямого впливу на ДНК або шляхом виробництва радикалів або іони, які опосередковано атакують ДНК. Відповідно до прямої теорії, деякі молекули в клітинах або компоненти їжі більш чутливі до дії іонізуючої енергії, ніж інші. ДНК – це найбільш критична мета опромінення, хоча інші клітинні компоненти також можуть постраждати. Безпосередній вплив опромінення на нуклеїнову кислоту є або іонізацією, або збудження. Молекули ДНК, особливо основна частина ДНК, дуже чутливі до іонізуючого випромінювання, що

призводить до розщеплення фосфодіефірних зв’язків ДНК. подвійна спіраль. Пошкоджена ДНК призводить до втрати здатності клітини до реплікації і зрештою призводять клітину до смерті, але деякі з них можуть бути відремонтовані ДНК-полімеразою або лігазою.

> **ДНК-полімераза** – це фермент, що бере участь у реплікації ДНК. Ферменти цього класу каталізують полімеризацію дезоксирибонуклеотидів уздовж ланцюжка ДНК, який фермент «зчитує» і використовує як шаблон. Тип нового нуклеотиду визначається за принципом комплементарності до матриці, з якої ведеться зчитування.
>
> **Лігази** – клас ферментів, здатних каталізувати з'єднання двох молекул з утворенням нового хімічного зв'язку. При цьому зазвичай відбувається відщеплення невеликої хімічної групи від однієї з молекул.

Залежно від ремонтоздатності, випромінювання сприйнятливість кожного мікроорганізму також різна. Непряма теорія полягає в тому, що радіолітичні продукти (іони або вільні радикали) води молекули викликають хімічні зміни в основних сполуках або структурі необхідні для підтримки життя. Зокрема, гідроксил Відомо, що радикал (·OH) ушкоджує молекули ДНК у 90%. Іонізуючий випромінювання також може впливати на клітинну мембрану, що призводить до додаткового впливу на резистентність і сприйнятливість клітин до опромінення. На сприйнятливість бактерій до опромінення впливають фактори зовнішнього середовища такі як температура, атмосферний газ, активність води, pH, харчові компоненти та етап росту мікроорганізмів. Непрямий вплив опромінення на ДНК включає збудження молекул води, які потім дифундують до середовища і контактують з хромосомними матеріалами. Залежно від дози опромінення їжа може бути пастеризована для зменшення або знищити патогени або стерилізувати, за винятком деяких вірусів. Менше 10 кГр опромінення може вбити комах і личинок і знищити хвороботворні бактерії і паразити. Дуже малі дози (до 1 кГр) радіації можуть знищує принаймні 99,9% сальмонел у свійській птиці та навіть більший відсоток Escherichia coli в яловичому фарші. Спороутворюючі бактерії можуть контролювати поєднанням високої дози

опромінення та термічної обробки. Опромінення не є ефективним для боротьби з вірусом, стійким до опромінення. Опромінення може значно підвищити безпечність м'ясних продуктів шляхом умертвіння заражені патогенними бактеріями. Відносно низькі дози (<10 кГр) опромінення може збільшити термін зберігання м'ясних продуктів у холодильному ланцюзі і називається «радуризацією» або «радіопастеризацією». Найбільше м'яса та м'ясопродуктів можна опромінити за допомогою ефекту радурізації, оскільки холодовий ланцюг був добре обладнані в м'ясній промисловості і м'ясні продукти зберігаються в холодильній температурі. Радіація вбиває аспорогенні бактерії та бактерії харчового походження заражені в м'ясі, а радапертизація використовується для знищення мікроорганізмів за винятком вірусу, який повністю використовує дози радіації понад 10 кГр.

Палички, що не утворюють спор (**аспорогенні**), називають просто бактеріями (збудники дифтерії, чуми, кишкових захворювань).

Радапертизація – опромінення дозою 10–25 кГр. Цього достатньо, щоб зменшити кількість мікроорганізмів до такого рівня, за якого сучасні мікробіологічні методи досліджень не дозволяють їх виявити або виявляють у поодиноких випадках. За своєю ефективністю метод умовно можна порівняти з тепловою стерилізацією, завдяки чому він отримав ще назву «холодної стерилізації».

Залежно від ступеня забруднення потрібні високі дози 10–50 кГр.

5.3. Переваги та недоліки опромінення

Опромінення м’яса – це процес, який забезпечує кілька важливих переваг як для споживачів, так і для промисловості. Це покращує безпеку свіжого м’яса шляхом зменшення або усунення хвороботворних мікроорганізмів харчового походження та подовження терміну зберігання продуктів. Споживачі та регулюючі органи мають все більше усвідомлюють небезпеку патогенних мікроорганізмів для здоров'я людини, і це призвело до більшої готовності розглядати опромінення обробка м'яса. FDA та USDA схвалили використання

опромінення червоного м’яса з максимальною поглиненою дозою 4,5 та 7,0 кГр для охолодженого та замороженого м'яса, відповідно, у 1999 році. М'ясо птиці було схвалено у 1990 році в дозі від 1,5 до 3,0 кГр для боротьби з патогенними бактеріями. Опромінення також може надати численні переваги м’ясопереробним підприємствам підвищена гігієнічна якість, подовжений термін зберігання та зменшення хімічних речовин токсичні залишки шляхом зменшення використання нітритів або інших хімічних консервантів. Радіолітичні продукти в опромінених харчових продуктах не є ні унікальними, ні токсикологічно значущими у виявлених кількостях. Однак взаємодії радіолітичних продуктів і м'ясних компонентів може погіршити якість м'яса. Вода є основним компонентом м'яса, його вміст коливається від 60% до 75%.м'ясо та м'ясні продукти. При опроміненні чистої води утворюється ряд радіолітичних утворюються продукти. $H2O \rightarrow \cdot OH$ (гідроксильний радикал) + ·H (атом водню) + H_2 +H_2O_2(перекис водню) + H_3O^+(гідратований протон) + e^- aq (гідратований електрон)

Серед радіолітичних продуктів гідроксильний радикал є потужним окислювачем тоді як гідратований електрон є сильним відновником. Коли первинні електрони від джерела випромінювання стикаються з електроном у середовищі, енергія передається електрону в середовищі. Це викликає викид вторинного електрона і генерує заряджений радикал. Тому, незважаючи на багато переваг щодо безпеки м'яса, опромінення може прискорити окислювальну хімію зміни в м'ясі.

Водорозчинні вітаміни реагують з радіолітичними продуктами води, тоді як жиророзчинні вітаміни реагують з вільними радикалами, що утворюються при радіолізі ліпідів. Тіамін є найбільш чутливим до радіації, але інші вітаміни групи В є стійкими руйнування, спричинене опроміненням. Вітамін С діє як антиоксидант проти змін, викликаних опроміненням, і перетворюється на дегідроаскорбінову кислоту під дією іонізуючого випромінювання, але його реакційна здатність залишається такою ж, як і рідна форма. Вітаміни А і Е є єдиними жиророзчинними вітамінами, на які впливає опромінення. α-Токоферол

є найбільш чутливим до радіації жиророзчинним вітамін, але може діяти як антиоксидант проти спричиненого опроміненням зміни.

Опромінення прискорює окислення ліпідів, особливо в аеробній упаковці м'яса та створює характерні неприємні запахи. В присутності кисню, опромінення ненасичених жирних кислот прискорює аутоокислювальні зміни і виробляє низку кисневмісних продуктів, таких як гідропероксиди та карбонільні сполуки. Опромінення 1,5–10 кГр дозування підвищені значення 2-тіобарбітурової кислоти реактивних речовин (TBARS) в грудні м'язи індички при аеробній упаковці в киснепроникні пакети. Однак окислення ліпідів у м'ясі на нього не вплинуло опромінення за допомогою вакуумної упаковки. Окиснення ліпідів опроміненого м'яса, що зберігалося в замороженому стані, відрізнялося від окиснення охолодженого, що можна пояснити обмеженою рухливістю вільних радикалів у замороженому стані.

Декілька летких сполук із неприємним запахом були нещодавно утворені або збільшені м'ясо після опромінення. Загалом, ароматичні та сірковмісні амінокислоти є найбільш чутливими до опромінення амінокислотами. Було показано, що вміст 1-гептена у летких речовинах був позитивно пов'язаний з дозою опромінення. Утворення алкенів і алканів також пов'язане з опроміненням. Розпад жирних кислот, викликаний опроміненням, може бути подібним до окислення ліпідів, особливо коли є кисень. Кілька сполук сірки були новими утворюються або збільшуються в м'ясі після опромінення: диметилсульфід, диметил дисульфід і диметилтрисульфід були серед найвидатніших сірки сполуки, відповідальні за опромінення неприємного запаху в м'ясі. Сірка сполуки, які утворені радіолізом сірковмісних амінокислот, можуть бути головним джерелом запаху опромінення, оскільки сполуки сірки мають дуже низький вміст поріг для виявлення запаху. Гамма-опромінення перетворило коричневий метміоглобін на червоний пігмент, який подібний, але не ідентичний оксиміоглобіну. Опромінені курячі грудки суттєво відрізнялися від звичайних коричневого або фіолетового кольору до більш яскравого рожевого або червоного кольору в проникній для кисню плівці. Опромінені

м’язи свинячої корейки мали підвищене почервоніння, і підвищене рожеве забарвлення було дуже стабільним під час зберігання в холодильнику навіть у аеробних умовах умови упаковки. Опромінення утворює чадний газ, який може утворювати шостий ліганд на геміміоглобіну (монооксид вуглецю міоглобіну) і знижений окислювально-відновний потенціал м'яса. Отже, рожевий колір, що утворюється в опромінених сирих і варених грудках індички, характеризувався як міоглобін чадного газу. Всупереч посилення почервоніння опромінених грудок птиці та свинячої корейки, опроміненої яловичини змінювався до коричневого в аеробних умовах.

Іонізуюче випромінювання може змінювати фізичні, хімічні та біологічні властивості матеріалів; факт, який був визнаний дуже скоро після відкриття радіоактивності. В даний час найбільш поширеними застосуваннями є стерилізація продуктів охорони здоров'я, опромінення харчових продуктів, збереження навколишнього середовища та модифікація матеріалів для полімерів.

Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) має кілька програм із застосування опромінення. За допомогою програми технічного співробітництва МАГАТЕ підтримує цю діяльність у країнах, що розвиваються, допомагаючи розбудувати місцевий потенціал. Він також організовує та проводить навчальні курси та семінари, забезпечує індивідуальне навчання персоналу та направляє експертів на радіаційні об’єкти в державах-членах, де потрібна допомога. Усе це можна зробити набагато ефективніше та результативніше за допомогою повного каталогу радіаційних об’єктів, які працюють у державах-членах. Така компіляція може слугувати цінним інструментом для налагодження контактів між регіональними та міжрегіональними установами. Нинішня компіляція є оновленням зусиль більше десяти років тому. Об’єкти опромінення в базі даних класифікуються відповідно до географічного регіону, країни, типу машини та діапазону енергії променю або активності Co-60, використання та потужності. Було використано різні засоби, щоб охопити якомога більше організацій. Незважаючи на ці зусилля, справедливо припустити, що цей каталог

не є повним. Ця технологія також швидко розширюється, що робить ще більш важливим підтримувати інформацію в цьому каталозі в актуальному стані. Використання конкретних позначень країн або територій не передбачає жодних суджень видавця, МАГАТЕ, щодо правового статусу таких країн або територій, їхніх органів влади та установ або делімітації їхніх кордонів. Згадування назв конкретних компаній або продуктів (незалежно від того, чи вказано вони як зареєстровані) не означає жодного наміру порушити права власності та не повинно розглядатися як схвалення чи рекомендація з боку МАГАТЕ.

Опромінення харчових продуктів є перевіреним методом, який зазвичай використовується для підвищення безпеки та якості м'яса. Ця технологія ефективно зменшує ріст мікроорганізмів, таких як віруси, бактерії та паразити. Це також збільшує тривалість життя та якість продуктів, затримуючи псування та зменшуючи ріст мікроорганізмів. Опромінення не впливає на сенсорні характеристики м'яса, включаючи колір, смак і консистенцію, якщо використовується відповідна доза. Однак його вплив на хімічні та харчові аспекти м'яса є комплексним, оскільки він може змінювати амінокислоти, жирні кислоти та вітаміни, а також генерувати вільні радикали, які викликають окислення ліпідів. На вплив цих змін впливають різні чинники, включаючи дозу опромінення, тип м'яса та умови зберігання. Опромінення також може впливати на фізичні властивості м'яса, такі як м'якість, консистенція та здатність до утримання води, що залежить від дози. Хоча низькі дози опромінення потенційно покращують ніжність і текстуру, високі дози негативно впливають на ці властивості, викликаючи денатурацію білка. Хоча опромінення дозволено та контролюється в багатьох країнах, його застосування є суперечливим і викликає занепокоєння серед споживачів. Опромінення харчових продуктів надійно покращує якість і безпечність м'яса, але його вплив на хімічні, фізичні та поживні властивості продуктів слід враховувати при визначенні відповідного дозування та використання.

М’ясо є цінним елементом раціону людини, оскільки воно містить такі необхідні елементи, як білок, вітаміни та мінерали. Однак ці харчові продукти також вразливі до мікробних патогенів і псування, створюючи значні ризики для здоров’я людини. Іонізуюче випромінювання використовується в опроміненні харчових продуктів для підтримки безпеки та якості харчових продуктів, зокрема м’яса.

Протягом десятиліть опромінення харчових продуктів використовувалося для зменшення мікробного забруднення та продовження терміну зберігання. Процедура передбачає піддавання харчового продукту регульованій кількості іонізуючого випромінювання, що зазвичай здійснюється шляхом застосування гамма-променів, електронних променів або рентгенівських променів. Випромінювання руйнує ДНК та інші клітинні компоненти мікробів, унеможливлюючи їх розмноження та спричиняючи їхню смерть. Процедура також розщеплює деякі молекули харчового продукту, що може вплинути на його поживну якість і сенсорні властивості.

Незважаючи на потенційні переваги, опромінення харчових продуктів залишається суперечливим, викликаючи занепокоєння щодо його безпеки, ефективності та впливу на поживну якість і сенсорні властивості харчових продуктів. Деякі критики стверджували, що опромінення їжі може створювати шкідливі сполуки або знищувати основні поживні речовини. Навпаки, інші поставили під сумнів необхідність опромінення, враховуючи інші заходи безпеки харчових продуктів, такі як належна виробнича практика та тестування харчових продуктів. Необхідно також розглянути питання про схвалення споживачами опромінених харчових продуктів, при цьому деякі люди висловлюють занепокоєння щодо їх безпеки та прийнятності. Досліджено доказ ефективності опромінення для зниження мікробного забруднення та продовження терміну зберігання м’яса разом із його потенційним впливом на фізичні та хімічні характеристики, вміст поживних речовин і сенсорні властивості.

5.4. Джерела та принципи опромінення харчових продуктів

Іонізуюче випромінювання, таке як гамма-промені, рентгенівські промені або електрони високої енергії, використовується для опромінення їжі. Опромінення харчових продуктів зазвичай визначається поглиненою дозою, вираженою в Греях (Гр) або кіло Греях (кГр), причому 1 Грей еквівалентний 1 Дж/кг продукту. Технологія вважається безпечним та ефективним способом зменшення або усунення небезпечних мікробів, подовження терміну зберігання, а також підвищення якості та безпеки харчових продуктів. Принципи опромінення харчових продуктів визначаються здатністю порушувати генетичний матеріал мікроорганізмів, перешкоджаючи їх розмноженню або спричиненню захворювань Пряме опромінення може розірвати зв'язки між парами основ у генетичному матеріалі, вбиваючи здатність клітини до відтворення. Потім, з іншого боку, пошкодження молекул води створює вільні радикали та активні форми кисню, які опосередковано пошкоджують генетичний матеріал. Опромінення також допомагає розщепити певні ферменти та білки в їжі, які можуть сприяти псуванню, тим самим збільшуючи термін зберігання.

США, Канада, а також кілька європейських та азіатських країн дозволяють опромінення їжі за допомогою кобальту-60, цезію-137 та електронно-променевих прискорювачів. Кобальт-60, найбільш поширене джерело іонізуючого випромінювання для опромінення харчових продуктів, є радіоактивним ізотопом, який випромінює гамма-промені, здатні проникати глибоко в харчові продукти для знищення шкідливих мікроорганізмів.

Цезій-137 є іншим джерелом іонізуючого випромінювання, хоча він використовується рідше, ніж кобальт-60. Крім того, електронно-променеві прискорювачі використовують для опромінення харчових продуктів. Ці пристрої генерують електрони високої енергії, які можуть проникати в харчові продукти для усунення шкідливих мікроорганізмів і подовження терміну зберігання.

Опромінення харчових продуктів має кілька переваг, включаючи багатофункціональність, а також гарантовану безпеку. Отриманий спектр

ефективний проти спор бактерій у широкому діапазоні концентрацій. Враховуючи те, що обробка не передбачає теплову обробку, вона безпечна для харчових продуктів, не суттєво знижує рівень поживних речовин, не залишає хімічних залишків і її легко контролювати під час використання. Для ефективного подовження терміну служби опромінених харчових продуктів необхідно дотримуватися наступних принципів:

(1) *Радуризація* використовує низькі дози 0,1–1 кГр. Ця кількість пригнічує дихання, затримує дозрівання, знезаражує шкідників, знешкоджує паразита *трихінелу* .

(2) *Радіцидацією* називається помірна доза. Це випромінювання використовує кількість приблизно 1–10 кГр, що має ефект зменшення псування та мікробних патогенів, включаючи *Salmonella* sp. і *Listeria monocytogenes*. Це дозування зазвичай зустрічається в заморожених продуктах, і його застосування ідентично застосуванню пастеризації, за винятком того, що опромінення не залежить від теплової енергії.

(3) *Радапертизація* використовує надзвичайно високі дози, які перевищують або дорівнюють 10 кГр, коливаючись від 30 до 50 кГр. Ця доза зазвичай використовується в процесі стерилізації, оскільки її ефект може вбити всі мікроорганізми в харчових продуктах, аж до рівня спор. Як правило, джерела та принципи опромінення харчових продуктів базуються на здатності іонізуючого випромінювання порушувати генетичний матеріал мікроорганізмів, ферментів і білків у харчових продуктах, що призводить до підвищення безпеки та якості. Використання опромінення регулюється національними та міжнародними органами для забезпечення його безпеки та ефективності.

5.5. Вплив опромінення на м'ясо. Мікробна безпека

Мікробна безпека є критично важливим аспектом виробництва та споживання м’яса, оскільки ці продукти можуть бути джерелом різноманітних шкідливих мікроорганізмів, які можуть спричинити хвороби харчового

походження. М’ясні продукти потенційно заражені різними патогенами, такими як *Salmonella, Escherichia coli, Campylobacter* і *Listeria monocytogenes*, що призводить до важких захворювань або смерті у вразливих груп населення.

Зараження може відбутися на етапі виробництва, переробки або розповсюдження, в тому числі на фермі, під час транспортування, на бійнях або переробних підприємствах, а також у торгових точках або вдома. Неправильна обробка та зберігання м’ясних продуктів також може збільшити ризик зараження. У всьому світі повідомлялося про спалахи харчових захворювань, пов’язаних з м’ясом, з різними типами продуктів, включаючи яловичий фарш, курку, свинину та оброблене м’ясо. Ці спалахи призвели до значних наслідків для здоров’я населення та економіки, підкреслюючи важливість ефективних заходів для зменшення ризику зараження.

Ефективність опромінення у зниженні мікробного забруднення м’яса було широко вивчено. Піддаючи їжу іонізуючому випромінюванню, останнє зменшує або знищує шкідливі мікроорганізми, які можуть спричинити захворювання харчового походження. Попередні дослідження показали, що опромінення може ефективно знизити рівень таких патогенів, як *Salmonella* та *Escherichia coli* , а також рівні мікроорганізмів, що псують організм, що призводить до покращення мікробної безпеки та зниження ризику харчових захворювань. Досліджено ефективність різних видів іонізуючого випромінювання на м’ясо, включаючи гамма-промені та електронні промені. Гамма-опромінення є більш ефективним, ніж опромінення електронним пучком, для інгібування росту мікробів у м’ясі. Ультрафіолетове світло ефективно знищує *Salmonella* spp., *Pseudomonas, Micrococcus* і *Staphylococcus* на м’ясі. Термін придатності м’ясних продуктів подовжується завдяки знищенню цих забруднюючих бактерій. Гамма-опромінення в низьких дозах може покращити мікробіологічну безпеку, забезпечити безпеку та подовжити термін зберігання курячого м’яса без шкоди для якості. М’ясо великої рогатої худоби, опромінене гамма-випромінюванням 3 кГр, знижує ріст мезофільних бактерій, коліформ і *Staphylococcus aureus*. Управління з харчових продуктів і медикаментів (FDA) визначило, що доза

гамма-опромінення 3,5 кГр ефективно знищує патогенні мікроби зі свіжого м'яса. Опромінення мало ефект уповільнення росту бактеріальних клітин і дезактивації їх метаболізму. Бактерії за своєю суттю стійкі до впливу опромінення і в лаг-фазі або в неактивному стані будуть більш стійкими. Навпаки, ті, хто перебуває у фазі росту, будуть більш вразливими.

Завод для опромінення харчових продуктів (рис. 11) має конвеєрну систему для пропускання предметів через інтенсивне радіаційне поле за товстими екрануючими стінами. Джерело γ опускають у глибокий басейн води для безпечного зберігання, коли воно не використовується. Тривалість опромінення до години опромінює їжу дозами до 10^4 Гр.

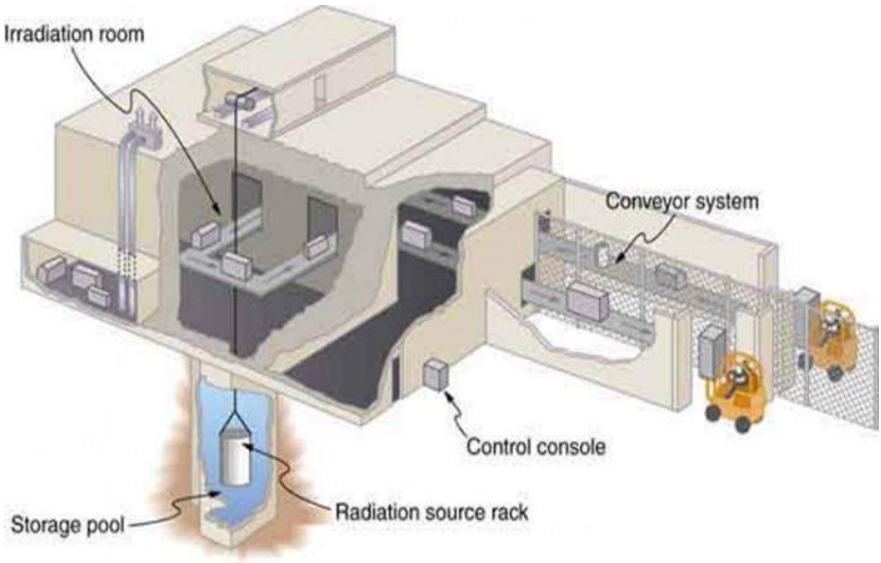


Рис. 11. Завод для опромінення харчових продуктів [9]

Важливо зазначити, що опромінення є лише одним із аспектів комплексного підходу до забезпечення мікробної безпеки м'яса. Інші втручання, такі як належна виробнича практика, гігієнічний контроль, а також відповідні практики зберігання та поводження, також мають вирішальне значення для зниження ризику зараження. Таким чином, мікробна безпека м'яса є критичною

проблемою для громадського здоров'я. Ризик зараження можна зменшити за допомогою різного втручання, у тому числі за допомогою опромінення для пом'якшення чи знищення шкідливих мікроорганізмів. Однак комплексний підхід до забезпечення безпеки харчових продуктів, включаючи належну виробничу практику, контроль гігієни, а також відповідні практики зберігання та поводження, має важливе значення для мінімізації ризику захворювань харчового походження. Здатність опромінення пригнічувати ріст мікробів змінюється залежно від типу м'яса. На хімічні характеристики м'яса впливають доза опромінення, тип і склад м'яса, температура, газовий склад і мікробне навантаження під час пакування. При проведенні опромінення ці фактори необхідно враховувати.

5.6. Хімічні властивості

Хімічні властивості опроміненого м'яса відносяться до змін, які відбуваються з хімічними компонентами та складом їжі внаслідок впливу іонізуючого випромінювання. Опромінення може викликати як бажані, так і небажані ефекти на хімічні характеристики м'яса, залежно від дози та конкретних сполук у їжі. Однією з найбільш значущих змін, які часто спостерігаються в опромінених м'ясних продуктах, є утворення вільних радикалів. Вони стають реактивними молекулами, які пошкоджують клітинні компоненти та викликають окислювальний стрес. Це призводить до окислення ліпідів, що викликає неприємний присмак і запах, а також погіршення якості харчування через втрату незамінних жирних кислот та інших поживних речовин. Проте опромінення в менших дозах також сприяє окисленню ліпідів шляхом зниження рівня пероксидів та інших реактивних речовин. Ця процедура також впливає на вміст білка в м'ясі, що призводить до змін у складі амінокислот, структурі білка та засвоюваності. Ці зміни мають потенційно позитивний і негативний вплив, здебільшого на поживну цінність їжі, що залежить від конкретних білків, які беруть участь, і дози опромінення. Позитивні ефекти опромінення включають той факт, що опромінення може викликати утворення

реакційноздатних форм, таких як вільні радикали, які можуть викликати утворення ковалентних зв'язків між амінокислотами в молекулах білка. Це перехресне зшивання може змінити структуру білкової молекули та зробити її стійкою до ферментативного розщеплення, що спричиняє зниження засвоюваності білка. Опромінення також може викликати денатурацію білкових молекул. Денатурація передбачає відкриття структури білка, що може полегшити взаємодію між амінокислотами та збільшити доступність травних ферментів до білкових молекул, а також може покращити засвоюваність білка. Однак опромінення також може викликати побічні ефекти; а саме, надмірне опромінення може спричинити розпад або зміни амінокислотних сполук у білкових молекулах, що спричиняє зниження загального вмісту амінокислот і, як наслідок, знижує засвоюваність білка. Електронно-променеве опромінення при дозі менше 3 кГр не впливало на зміну якості копченої м’якоті качки (амінокислоти, жирні кислоти та леткі речовини) під час зберігання.

Окрім цих хімічних змін, опромінення також впливає на вміст вітамінів у м’ясних продуктах, причому деякі вітаміни є більш чутливими, ніж інші. Наприклад, опромінення призводить до втрати вітаміну С, тоді як інші вітаміни, такі як вітамін А та Е, є відносно стабільними. Було показано, що опромінення змінює окиснювально-відновну здатність м’яса, прискорюючи окислення ліпідів, розщеплення білка, змінюючи смак і запах. У поєднанні з певними антиоксидантами, такими як флавоноїди, опромінення може допомогти подовжити період індукції окислення ліпідів.

Флавоно́їди – похідні фенольних сполук, жовті, коричневі пігменти рослин. Вони виявляють різноманітну фітотерапевтичну дію. Зустрічаються в багатьох рослинах у вигляді глікозидів, а також і в чистому вигляді.

Зберігання опроміненого м’яса при 5-10 °С протягом одного тижня майже не змінило pH, консистенцію, загальний летючий основний азот або кількість мікробів. Між тим більш висока доза ультрафіолетового опромінення збільшує вміст

2-тіобарбітурової кислоти, знижує водоутримувальну здатність і зменшує інтенсивність кольору та ніжність яловичини. Було виявлено, що гамма-опромінення 2,5 і 5 кГр знижує вміст нітритів у курячих ковбасах і запобігає окисленню в поєднанні з антиоксидантами. Титрована кислотність і кислотне число в зразках м’яса можуть бути знижені опроміненням.

Як правило, хімічні властивості опроміненого м’яса є складними і залежать від різних факторів, включаючи дозу радіації, специфічні сполуки в самому м’ясі та умови обробки та зберігання після процедури. Майбутні дослідження повинні повністю враховувати хімічні зміни в опроміненому м’ясі та те, як вони впливають на безпечність харчових продуктів, харчову якість і сенсорні властивості.

5.7. Фізичні властивості

Під фізичними властивостями опроміненого м'яса розуміють зміни, які відбуваються внаслідок впливу іонізуючого випромінювання. Найбільш поширені зміни матеріалу пов’язані з кольором, текстурою, а також водоутримуючою здатністю. Колір опроміненого м'яса визначає його свіжість і прийнятність споживача. Колір є однією з найбільш помітних змін, які зазвичай спостерігаються в опроміненому м’ясі. Загалом колір продуктів має тенденцію ставати світлішим або блідішим, що пояснюється розпадом міоглобіну та утворенням метміоглобіну, коричневого пігменту. Ця зміна кольору більш виражена в червоному, ніж у білих м’ясних продуктах, таких як яловичина та птиця, відповідно. Кілька факторів впливають на колір опроміненого м’яса, включаючи концентрацію пігменту гему (особливо міоглобіну), ступінь окислення, утворення ліганду та фізичні характеристики (доза опромінення, pH, температура та час зберігання). Утворення чадного газу (CO) під час опромінення викликало зміну кольору на червоний. Було також виявлено, що яловичина, упакована в атмосферу, модифіковану CO, опромінена менш ніж 1,0 кГр, виглядає більш червоною та має вище значення кольоровості, ніж

яловичина, опромінена більшою дозою. Однак, коли сирий яловичий фарш опромінювався електронним променем, кольоровість зменшувалася зі збільшенням дози. Концентрація пігменту в м’ясі зменшується через деградацію або денатурацію міоглобіну зі збільшенням дози опромінення.

Текстура є ще однією важливою фізичною властивістю м'ясних продуктів, на яку впливає опромінення. Процедура викликає розпад сполучної тканини в м’ясі, що призводить до більш м’якої текстури. Однак опромінення також призводить до жорсткості м’ясних продуктів через денатурацію білків. Твердість, еластичність і липкість зразків гострого м’яса яловичини зменшилися із збільшенням гамма-опромінення. Навпаки, опромінення 3-5 кГр за допомогою електронного променя покращило текстуру м’яса *Tegillarca granosa* . Поєднання гамма-опромінення 9 кГр і старіння може покращити ніжність *яловичини Nellore.* Підвищення дози опромінення викликає зниження вмісту міофібрилярного білка в м'ясі. Він змінює вторинну структуру, що викликає зміни у функціональних властивостях міофібрилярного білка, впливаючи на текстуру м’яса. Доза, температура, pH, спосіб упаковки, час зберігання, тип м’язів і вміст води впливають на ці зміни. Крім того, чутливість різних типів білків до впливу опромінення на текстуру м’яса різна.

Водоутримувальна здатність (WHC) відноситься до здатності їжі утримувати воду під час приготування або обробки. Опромінення може вплинути на водоутримувальну здатність м’ясних продуктів, викликаючи зміни структури білка. Це може призвести до втрати води під час приготування або обробки, що вплине на якість кінцевого продукту. Зразки яловичини, опромінені ультрафіолетовим випромінюванням у високих дозах, показали меншу втрату води під час приготування та нижчий відсоток WHC.

Як правило, фізичні властивості опроміненого м’яса є важливими міркуваннями для забезпечення його якості та сприйняття споживачами. Розуміння змін у фізичних властивостях внаслідок опромінення є необхідним для розробки ефективних методів обробки та підвищення якості.

5.8. Подовження терміну зберігання

Подовження терміну придатності є критичним аспектом збереження м'ясних продуктів, оскільки це має важливе значення для підтримки якості та безпеки цих швидкопсувних продуктів протягом бажаного періоду зберігання. Псування та деградація м'яса відбуваються через різні фактори, включаючи патогенні мікроорганізми, ферментативну активність, а також окислення. Ці фактори змінюють колір, консистенцію, смак, вміст поживних речовин і ріст шкідливих мікроорганізмів, які можуть викликати хвороби харчового походження.

Опромінення – це один із методів, ефективність якого в подовженні терміну придатності м'яса була ретельно досліджена. Іонізуюче випромінювання при застосуванні до харчових продуктів мінімізує рівні або повністю знищує патогенні мікроби, які викликають псування та деградацію. Повідомлялося, що ця процедура також подовжує термін придатності та підвищує безпеку продукту. Попередні дослідження показали, що опромінення було хорошим способом змусити такі м'ясні фарші, як яловичий, курячий і свинячий фарш зберігатися довше. Цей метод зменшує або знищує патогенні мікроби, включаючи *Salmonella* та *Escherichia coli*, а також організми, що псують організм, такі як *Pseudomonas* та молочнокислі бактерії. Це дозволяє істотно продовжити термін зберігання харчових продуктів. У порівнянні з іншими методами збереження м'яса, такими як термічна обробка та хімічні консерванти, опромінення є безпечною та ефективною технікою. Крім того, повідомляється, що опромінення незначно впливає на сенсорні властивості та харчову цінність продукту, що робить його бажаним методом консервування.

Термін придатності яловичини, курки та філе лосося було подовжено на 66,6% завдяки поєднанню вакуумної упаковки та УФ-опромінення. Досліджено вплив опромінення електронним променем при 4 кГр на термін зберігання курячого м'яса, враховуючи також його вплив на сенсорні характеристики. Результати показали, що обробка подовжила термін зберігання м'яса без

істотного впливу на його сенсорні властивості. Термін придатності опроміненого м’яса великої рогатої худоби, що зберігався при 4–7 °C і піддавався опроміненню 3 кГр, становив 14 днів. Навпаки, неопромінене бичаче м'ясо мало термін зберігання лише три дні. Рекомендовані дози електронно-променевого опромінення для збереження якості та терміну зберігання м’яса перепелів становлять 1,5 та 3 кГр.

Є обмеження щодо ефективності опромінення; наприклад, процес менш ефективний у боротьбі з певними типами бактерій псування, які не мають високого рівня пошкодження ДНК. Хоча опромінення не вводить шкідливі хімічні речовини або залишки в харчовий продукт, все ще існують занепокоєння щодо його потенційного впливу на якість і безпеку харчових продуктів. Загалом опромінення є перспективним для продовження терміну придатності м’яса, але це лише один з аспектів комплексної стратегії збереження, яка включає належне поводження, зберігання та інші втручання з безпеки харчових продуктів.

5.9. Харчова якість

Поживна якість м’яса має важливе значення для споживачів, тоді як опромінення як метод обробки викликає занепокоєння щодо потенційних змін у складі поживних речовин і біодоступності. Попередні дослідження показали, що опромінення може викликати деякі зміни в складі поживних речовин м’яса. Наприклад, було показано, що вміст тіаміну в свинині та яловичині зменшується після опромінення, тоді як рівні інших вітамінів групи В залишаються стабільними. Вплив опромінення на вміст мінералів можна було б більш точно з’ясувати, оскільки деякі дослідження повідомляють про зменшення певних мінералів, тоді як інші повідомляють про відсутність значних змін. Деякі дослідження також показали, що опромінення спричинило зміни в якості білка, що призвело до зниження засвоюваності та біодоступності, тоді як інші не виявили значущих ефектів. Надмірне опромінення може спричинити окислення білків, що викликає утворення карбонільних груп, розрив подвійних зв’язків або навіть може змінити пептидні зв’язки, які існують у білкових структурах. Ці

зміни призведуть до того, що ферменти протеази, які відіграють важливу роль у перетравленні білка, не зможуть розпізнавати та перетравлювати білки, що призводить до зниження засвоюваності та біодоступності білків. Жодного істотного ефекту не відбувається, якщо опромінення дається тільки з низькою інтенсивністю і протягом короткого часу, так що енергії від світла опромінення недостатньо для зміни структурної конфігурації білка. Опромінення гострого в'яленого яка за допомогою електронно-променевого опромінення в максимальній дозі 7 кГр не змінило суттєво якість білка, виміряну за загальним вмістом амінокислот. Однак доза 9 кГр показала значне зниження амінокислот. Досліджено як вільні радикали, утворені опроміненням, впливають на вільні амінокислоти та їх залишки. Виявлено, що вільні радикали призводять до того, що амінокислоти, такі як лізин, аргінін, пролін, цистеїн, треонін, лейцин і гістидин, перетворюються на карбонільні похідні та інші хімічні речовини. Більш високі дози опромінення утворюють більше вільних радикалів і викликають втрату більшої кількості амінокислот.

Окислення ліпідів є ще однією потенційною проблемою, пов'язаною з опроміненими м'ясними продуктами, оскільки це може призвести до змін смаку, текстури та харчової якості. Звіти показали, що опромінення посилило окислення ліпідів у м'ясі. Ці зміни можуть відрізнятися залежно від типу м'яса, дози опромінення та умов зберігання. Виявлено, що різні дози опромінення можуть змінювати окислювально-відновний потенціал м'ясної системи, прискорюючи окислення жиру та білка та змінюючи колір, смак і смак м'яса. Копчена куряча грудка, опромінена гамма-випромінюванням >3 кГр, зменшила окислення білків і збільшила окислення ліпідів. Опромінення значно вплинуло на ліпіди мармурової яловичини, але збільшення дози з 2,5 до 4,5 кГр дало мало ефекту. Ліпіди м'яса складаються з насичених і ненасичених жирів. Ненасичені жири (олеїнова, лінолеатна, ліноленова, арахідонова) легко окислюються при тривалому нагріванні або опроміненні. Висока енергія опромінення призведе до вивільнення електронів у подвійних зв'язках молекул ненасиченого жиру з утворенням пероксильних радикалів. Після цього пероксильні радикали можуть

піддаватися поширенню або розмноженню, також відомому як процес автоокислення. У подальших процесах окислення пероксильні радикали можуть утворювати летючі вторинні продукти, що спричиняє появу в м’ясі згірклого чи неприємного смаку, що призводить до зниження якості м’яса.

Опромінення також впливає на стабільність вітамінів у м’ясі, деякі дослідження повідомляють, що воно спричиняє зниження рівня деяких вітамінів, таких як комплекс вітамінів групи В і вітамін С, тоді як рівень інших, включаючи вітамін Е, залишається стабільним. Вітаміни швидко розкладаються через температуру, світло, кисень, лужність води, pH і контакт з іншими компонентами. М’ясо містить водорозчинні вітаміни В-комплексу, такі як тіамін (B_1), рибофлавін (B_2), ніацин (B_5), піридоксин (B_6), біотин (B_{10}), кобаламін (B_{12}), холін, фолієва кислота та пантотенова кислота. Жиророзчинні вітаміни більш стабільні при опроміненні, ніж водорозчинні. Існують різні можливі механізми опромінення для зниження рівня вітамінів у м'ясі. Розпад вітамінів, викликаний опроміненням, знижує вміст вітамінів у м'ясі, знижуючи його харчову цінність. Активні форми кисню (АФК) – це вільні радикали, що утворюються в результаті опромінення, які можуть реагувати з вітамінами, викликаючи пошкодження або окислення. Крім того, радіолітичні продукти можуть реагувати з вітамінами, завдаючи шкоди. Вони також можуть реагувати з білковими або ліпідними компонентами, змінюючи їх поживні та сенсорні властивості. Проте опромінення вітамінами зазвичай залежить від дози опромінення, типу вітаміну та наявності інших харчових компонентів. Якщо піддати домашній птиці та овочам опромінення електронним пучком 4 кГр, то воно суттєво вплинуло на рівень вітаміну С, знизивши його, але істотної різниці після місяця зберігання не було. Крім того, повідомлено, що після опромінення 6,0 кГр вміст вітаміну B_1 у м’ясних продуктах знизився на 47%, тоді як вміст рибофлавіну та ніацинової кислоти (нікотинова кислота) був більш стійким до радіації.

Незважаючи на ці потенційні зміни в складі поживних речовин і біодоступності, безпечність опромінених м’ясних продуктів для споживання людиною була ретельно вивчена та підтверджена. Всесвітня організація охорони

здоров’я (ВООЗ), Управління з харчових продуктів і медикаментів США (FDA), а також інші регулюючі органи дійшли висновку, що опромінені м’ясні продукти безпечні для споживання людиною та не мають негативного впливу на здоров’я.

Нарешті, хоча опромінення потенційно може спричинити кілька змін у складі поживних речовин і якості м’яса, це безпечний і ефективний метод зниження ризику харчових захворювань. Потрібні додаткові дослідження, щоб краще зрозуміти наслідки для складу поживних речовин і біодоступності, а також оптимізувати параметри обробки, щоб мінімізувати будь-який потенційний несприятливий вплив на якість харчування.

5.10. Сенсорні властивості

Сенсорні властивості м’яса мають вирішальне значення для визначення його загальної якості та сприйняття споживачами. Опромінення харчових продуктів, метод консервування, який використовує іонізуюче випромінювання для зменшення мікробного забруднення та подовження терміну зберігання, сприяло покращенню сенсорних властивостей опроміненого м’яса. Ці зміни включають зміни кольору, текстури та смаку, які можуть вплинути на сприйняття споживачами та сприйняття продуктів.

Опромінення до 10 кГр не впливає на поживні властивості або безпеку харчових продуктів. Опромінення прискорює окислення ліпідів і знебарвлення, а також знижує рівень сенсорних властивостей, які викликають неприємний смак у м’ясі та м’ясних продуктах. Гамма-опромінення копченої курячої грудки при 2 кГр не мало помітного впливу на сенсорні властивості. Кілька факторів, включаючи знання про процес опромінення, передбачувану безпеку та сенсорні властивості продуктів, впливають на сприйняття споживачами опроміненого м’яса. Згідно з попередніми дослідженнями, споживачі будуть купувати опромінені м’ясні продукти, якщо вони правильно марковані, виглядають безпечними та мають високу якість. Однак деякі споживачі можуть мати негативне сприйняття, ймовірно, через сенсорні властивості продуктів.

Були запропоновані різні стратегії для продовження покращення сенсорної прийнятності опроміненого м’яса, включаючи використання умов упаковки та зберігання, які можуть мінімізувати сенсорні зміни, спричинені опроміненням, використання підсилювачів смаку та інших добавок для посилення смаку та аромату. продуктів, а також вибір м’ясних шматків і технологій обробки, які менш залежать від опромінення. Сенсорні властивості опроміненого м’яса є важливим фактором при розробці та маркетингу цих продуктів; отже, слід ретельно розглянути стратегії покращення сенсорної якості м’яса.

5.11. Нормативно-правова база щодо опромінення харчових продуктів

Опромінення харчових продуктів регулюється національними та міжнародними правилами, спрямованими на забезпечення безпеки та ефективності технології. У США FDA та USDA регулюють безпеку та маркування опромінених харчових продуктів. Ці продукти повинні бути позначені як «оброблені радіацією» або щось подібне, і доза повинна бути згадана. Комісія Codex Alimentarius, спільний орган ФАО та ВООЗ, встановила міжнародні рекомендації та стандарти опромінення харчових продуктів. Ці рекомендації містять рекомендації щодо опромінення харчових продуктів для окремих продуктів, включаючи м’ясо та м’ясо, а також встановлюють максимально допустимі дози опромінення.

Окрім регуляторного нагляду, державні органи забезпечують безпеку та якість опромінених м’ясних продуктів. Служба безпеки та інспекції харчових продуктів USDA (FSIS) забезпечує безпеку та маркування м’яса, а також продуктів з птиці, включно з опроміненими. Агентство перевіряє та тестує опромінені продукти, щоб переконатися, що вони відповідають нормативним вимогам і безпечні для споживання.

Відповідно до Загального стандарту мінімальна поглинена доза повинна бути достатньою для досягнення технологічної цілі. Максимальна доза повинна бути меншою, ніж та, яка загрожувала б безпеці споживача або негативно

вплинула на структурні, функціональні, поживні чи сенсорні характеристики. Комісія Codex Alimentarius визнала продукти, опромінені гамма-променями до 10 кГр, безпечними, тому токсикологічні тести більше не потрібні. Організація Об’єднаних Націй стверджує, що їжу можна обробляти будь-якою дозою, не завдаючи шкоди (рис. 12). При правильному проведенні високі дози опромінення можна використовувати для різних харчових продуктів для покращення їх гігієнічної якості, підтримки стабільності та створення спеціальних продуктів. Радіологічна безпека, токсикологічна безпека, мікробіологічна безпека та адекватність харчування є критеріями FDA для безпечності опромінених харчових продуктів. Радіоактивність і токсичність, пов'язані з опроміненням харчових продуктів, не виявлені. Радіація була схвалена для знищення найбільш стійких бактерій, *Clostridium botulinum*, та її токсину без збільшення мікробіологічних ризиків.

Нормативна база щодо опромінення харчових продуктів забезпечує безпеку та ефективність технології, а також надає споживачам чітку та точну інформацію про продукт. Державні установи повинні забезпечити виконання цих правил, щоб гарантувати безпеку та якість опроміненого м’яса.

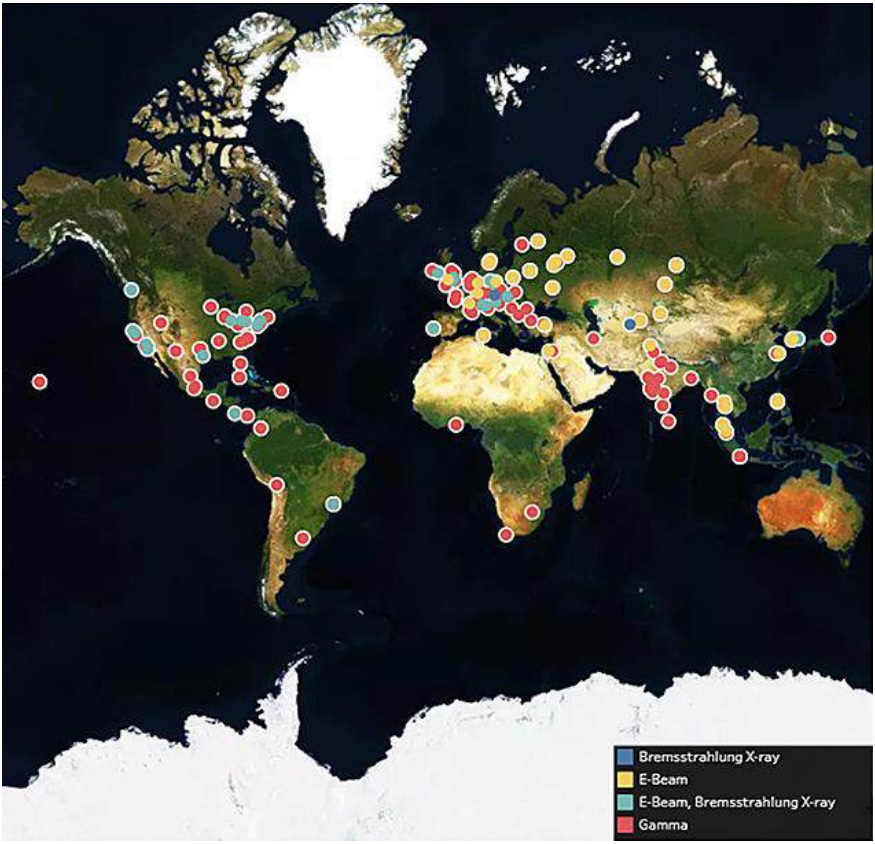


Рис. 12. Країни, які використовують опромінення у м’ясному виробництві [10]

Під час обговорення майбутніх напрямків і вимог до досліджень щодо опромінення харчових продуктів м’яса всебічний огляд зазвичай зосереджується на потенційних досягненнях і невирішених областях невизначеності в цій галузі. Вивчаються нові методи опромінення харчових продуктів, які можуть мати потенційні переваги порівняно з традиційними методами, включаючи імпульсні електронні промені, рентгенівські промені та гамма-випромінювання. Крім того, потенціал використання опромінення для продовження терміну придатності розфасованих м’ясних продуктів є областю активних досліджень.

Поєднання опромінення з іншими процесами може підвищити безпеку харчових продуктів, харчову цінність, якість продукції та втрати під час комерціалізації. Опромінення рослинними ефірними оліями, упаковка в модифікованій атмосфері або помірна теплова обробка підвищували відносну радіочутливість бактерій у 2-4 рази. Ця комбінація зменшує дозу радіації, тепло, поживні та сенсорні якості порівняно з натуральними продуктами, що призводить до кращого продукту. Технологія опромінення в поєднанні з м'якою термічною обробкою може зменшити або знищити бактерії та паразитів, щоб подовжити термін придатності харчових продуктів. Крім того, поєднання нанобактеріостатичних агентів із мікрохвильовою технологією, УФ-опроміненням, ультразвуковою обробкою та іншими технологіями обробки широко проводиться для сільськогосподарських і водних продуктів. Нанобактеріостатичні агенти використовуються як харчові добавки для поліпшення стерилізації м'яса. Поєднання цих технологій для обробки може зменшити інтенсивність термічної обробки та захистити харчову та органолептичну якість продукту. Потрібні додаткові дослідження для розробки кращих методів обробки та збереження м'ясних продуктів.

Також можуть бути розглянуті питання щодо невизначеності та суперечок щодо опромінення харчових продуктів. Наприклад, згідно з деякими дослідженнями, опромінення може призвести до утворення потенційно шкідливих речовин у м'ясних продуктах, тоді як інші припускають, що цей ризик мінімальний. Майбутні дослідження та експерименти повинні прагнути прояснити ці питання.

Нарешті, у розділі про майбутні напрямки та потреби в дослідженнях можуть бути визначені конкретні області, де потрібні додаткові дослідження, щоб краще зрозуміти вплив іонізуючого випромінювання на м'ясо. Це може включати дослідження впливу опромінення на сенсорну якість і вивчення поживного складу опромінених м'ясних продуктів. Крім того, існує необхідність вивчити потенційні наслідки опромінення для конкретних видів м'ясних продуктів, таких як фарш або птиця.

Опромінювання харчових продуктів є багатообіцяючою технологією, яка має потенціал для підвищення як якості, так і безпечності м'яса. Сучасні дослідження показують, що опромінення може зменшити мікробне забруднення, подовжити термін придатності та зберегти поживну якість м'ясних продуктів. Однак це може негативно вплинути на сенсорні властивості, тому для вирішення цієї проблеми необхідні подальші дослідження. Важливо також зазначити, що національні та міжнародні агенції регулюють опромінення в харчовій промисловості, і існують вимоги до маркування опромінених м'ясних продуктів. Державні органи мають важливу функцію щодо забезпечення безпеки та якості споживачів. Майбутні дослідження опромінення харчових продуктів також можуть надавати пріоритет пошуку нових технологій і застосувань, розглядаючи питання невизначеності та суперечок, а також покращуючи поточні знання про вплив опромінення на м'ясо. Беручи до уваги наявні дані, рекомендується, щоб політики розглянули можливість включення опромінення в комплексну стратегію безпеки харчових продуктів. Крім того, зацікавлені сторони в м'ясній промисловості повинні розглянути можливість інвестування в дослідження та інновації для покращення органолептичних характеристик продуктів і сприйняття споживачами.

5.12. Інноваційне застосування технології холодної плазми з метою обробки м'ясі та продуктах з нього

5.12.1. Фактори, що впливають на ефективність холодної плазми

Збільшення кількості спалахів захворювань харчового походження, викликаних харчовими патогенами, включаючи *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, патогенну *Escherichia coli, Clostridium perfringens, Campylobacter* spp. і *Vibrio* spp., стало серйозною проблемою для охорони здоров'я, в результаті чого у значний економічний збиток багатьом країнам. Прогнозується, що до 2031 року глобальне споживання м'ясних білків

зросте на 11% порівняно із середнім показником за базовий період 2019–2021 років, головним чином завдяки зростанню доходів і населення. Серед усіх комерційних харчових продуктів м'ясо є одним із найбільш швидкопсувних продуктів, і на його термін придатності впливають численні фактори, включаючи ріст мікробів, ферментативну активність, процеси окислення, тип упаковки та навколишнє середовище продукту, особливо в місці продажу. Стале виробництво харчових продуктів і зростаючий попит споживачів на свіжу, поживну та безпечну їжу призвели до дослідження нових методів обробки та консервування для продовження терміну придатності харчових продуктів.

За останні два десятиліття технології нетермічної обробки, включаючи обробку під високим тиском, ультразвук, імпульсне електричне поле, ультрафіолетове світло, імпульсне світло високої інтенсивності, гамма-опромінення та холодну плазму, викликали значний інтерес у м'ясній промисловості для забезпечення мікробіологічних безпеки. Плазма, четвертий агрегатний стан, є іонізованим газом, що утворюється в результаті застосування електричного струму до нейтрального газу, і стала багатообіцяючою технологією для різних застосувань, включаючи нетеплову пастеризацію їжі. Плазма містить активні форми кисню (ROS), активні форми азоту (RNS), ультрафіолетове випромінювання (UV), вільні радикали та заряджені частинки.

Застосування технології холодної плазми в різноманітних харчових продуктах, як природних, так і оброблених, набуло значного значення в останні роки. Його привабливі якості полягають у низькій температурі та високій ефективності. Що стосується харчових продуктів і харчових матеріалів, обробка холодною плазмою пропонує численні варіанти приготування харчових продуктів, включаючи дезактивацію поверхні, модифікацію властивостей поверхні та посилення масообміну. Застосування нетермічної плазми в різних категоріях харчових продуктів показало багатообіцяючі результати. Наприклад, її застосовували до овочів, фруктів, м'яса, морепродуктів, молочних продуктів, зернових та соків, демонструючи ефективну мікробну інактивацію, розширений термін зберігання життя, зменшення втрат від псування та покращення

поживних, функціональних і сенсорних властивостей харчових продуктів. Крім того, технологія холодної плазми продемонструвала успішну поверхневу стерилізацію пакувальних матеріалів і функціональну модифікацію для досягнення бажаних якостей.

Різні джерела плазми, включно з плазмовим струменем, коронним розрядом, радіочастотою, діелектричним бар'єрним розрядом і мікрохвильовою піччю, випробовуються на антимікробну ефективність у м'ясі, такому як яловичина, свинина, баранина та курка. та їхні продукти. Дослідження вказують на те, що обробка плазмою має більший потенціал для інактивації харчових патогенів, що робить його цінним інструментом для мікробного контролю. Холодна плазма, зокрема, пропонує такі переваги, як економічність, універсальність, екологічність і мінімальне утворення небезпечних речовин під час процесу стерилізації. Вона також продемонструвала підвищення біоактивності природних біоактивних компонентів із користю для здоров'я. Крім того, плазмова технологія була визнана перспективною своєю здатністю захищати упаковану їжу від патогенних мікроорганізмів і покращувати параметри якості їжі. Тим не менш, початкова вартість встановлення, вимоги до обладнання для конкретного процесу, потреба у висококваліфікованому персоналі та заходи безпеки можна назвати недоліками використання цієї технології.

Плазма, четвертий стан речовини – це частково або повністю іонізований газ, що складається з багатьох різних видів, включаючи позитивні та негативні іони, електрони, вільні радикали, атоми газу, молекули в основному чи збудженому стані, нейтральні частинки та кванти електромагнітного випромінювання, як видиме світло та УФ-фотони. Плазму можна створити шляхом застосування енергії до нейтральних газів різноманітними способами, такими як теплові, електричні, оптичні (УФ-світло), магнітні поля, опромінення та мікрохвильові поля (рис.13). Система може працювати на суміші благородних газів, таких як гелій, аргон або неон, або вона може використовувати основний

газ, наприклад повітря чи азот. Суміші газів, такі як He/O_2 , He/N_2 , N_2/N_2O, N_2/O_2, Ar/O_2 і $He/O_2/H_2O$ також використовувалися в різних плазмових операціях.

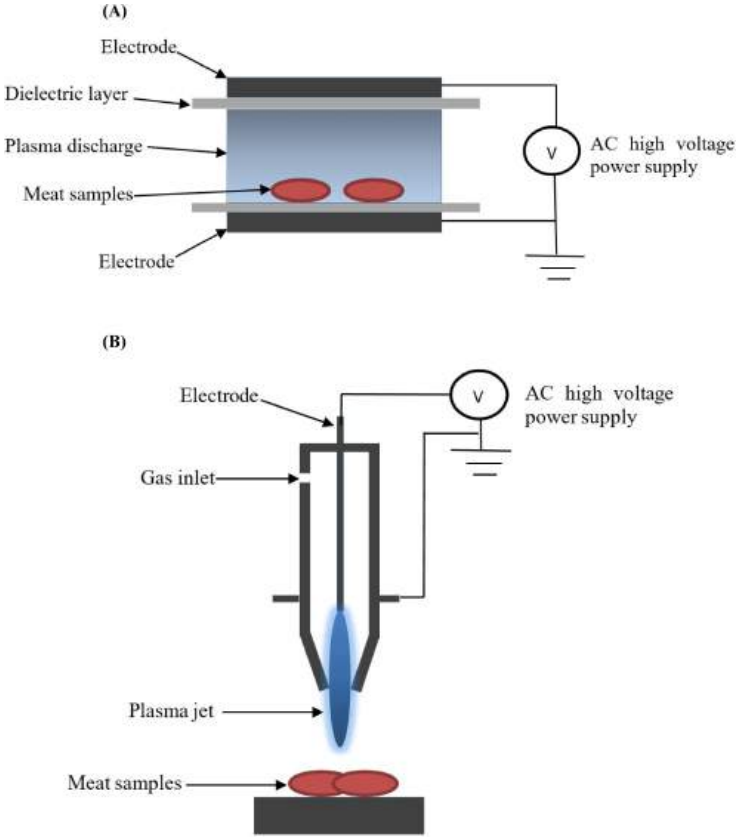


Рис. 13. Принципова схема холоднoплазмової обробки м'яса. (А) Діелектричний бар'єрний розрядний пристрій, (В) плазмова струменева система [11]

Плазму можна класифікувати за умовами теплової рівноваги та тиску. На основі теплової рівноваги плазмова технологія поділяється на високотемпературну (стан теплової рівноваги: від 10^6 до $10^8 K$) і низькотемпературну плазму. Останню можна далі поділити на теплову плазму (квазірівноважна плазма; локальний тепловий рівноважний стан: від 4000 до 20

000 *K*) і нетеплову плазму (нерівноважна плазма/холодна плазма; нерівноважний стан: від 300 до 1000 *K*. Нетеплова плазма (холодна плазма) підтвердила свою ефективність для використання в продуктах, чутливих до нагрівання, включаючи м'ясо та м'ясні продукти, порівняно з високотемпературною та термальною плазмою.

Відповідно до умов тиску плазму можна далі розділити на плазму високого тиску, атмосферного тиску та плазму низького тиску. Однак вимога до вакуумної системи для генерації плазми за умов низького тиску обмежила її використання та відкрила нові шляхи для генерації плазми за атмосферного тиску. Холодну плазму при атмосферному тиску 30 – 60 °C можна створити за допомогою кількох електричних розрядів, таких як коронний розряд, DBD, ковзний дуговий розряд, плазмова голка та плазмові струмені з різними видами газів, такими як кисень, азот, гелій, аргон і навколишнє повітря. Проте DBD і плазмовий струмінь вважаються найбільш часто використовуваними пристроями холодної плазми (рис. 13) у харчовій промисловості, включаючи м'ясопереробну промисловість, завдяки їхній нескладній конструкції та гнучкості, яку можна змінювати для задоволення різноманітних потреб у обробці. Окрім застосування в харчовій промисловості, технологія холодної плазми застосовувалася в ряді галузей промисловості, включаючи виробництво медичних приладів, текстиль, автомобільну, аерокосмічну, електроніку та пакувальні матеріали.

На мікробіцидну ефективність холодної плазми впливають три основні категорії факторів: мікробні фактори, харчові фактори та параметри роботи плазми. Тому для досягнення підвищеної антимікробної ефективності в харчових системах необхідний комплексний розгляд цих факторів. Робочі параметри та інструментальні налаштування обробки холодною плазмою відіграють вирішальну роль у визначенні концентрації реактивних речовин, характеристик розряду, виділення газу та загальної ефективності процесу холодної плазми. Наприклад, ефективність опосередкованого холодом плазми інгібування *L. monocytogenes, E. coli* та *Salmonella* Typhimurium у беконі та *L. monocytogenes* у курячій грудці була вплинута за типом використовуваного газу;

суміш гелію та кисню та суміш азоту та кисню були більш ефективними для зменшення кількості мікробів, ніж гелій та азот відповідно. Крім того, дослідженнями було підтверджено, що збільшення вхідної потужності призвело до більшого мікробіцидного ефекту. Плазмова обробка в упаковці (закрита) пропонує переваги, запобігаючи подальшому забрудненню харчових систем і забезпечуючи безперервний ефект пастеризації проти мікроорганізмів навіть після плазмової обробки порівняно з відкритою плазмовою системою. .

Утворення біоплівки на поверхнях, що контактують з харчовими продуктами, є основною причиною забруднення харчових продуктів, спалахів хвороб харчового походження та відкликання готових харчових продуктів. Останніми роками підприємства харчової промисловості досліджують сучасні зелені технології як альтернативу звичайним антимікробним хімічним дезінфікуючим засобам для знезараження ліній і об'єктів харчової промисловості.

Наукові дослідження продемонстрували, що обробка холодною плазмою ефективно руйнує та інактивує біоплівки, утворені різними мікроорганізмами, включаючи *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans*, *Aspergillus flavus*, *E. coli*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus* spp., *L. monocytogenes* і *S. aureus*. Однак на ефективність холодної плазми проти біоплівки також впливає кілька факторів, таких як склад газу (окрема газова/газова суміш), поверхня прикріплення (біотична поверхня, абіотична поверхня, шорсткість, гідрофільність, гідрофобність), тип біоплівки (моно-види або змішані види), параметри обробки (потужність, напруга, частота, швидкість потоку), типи бактерій (грампозитивні/грамнегативні), індивідуальні варіації властивостей клітин, вік біоплівки, товщина біоплівки та умови зберігання.

5.12.2. Застосування холодної плазми в м'ясній промисловості

Переробка м'яса завжди відігравала провідну роль у розробці та впровадженні новітніх технологій у харчовій промисловості. Для забезпечення

санітарного виробничого середовища при переробці м’яса використовуються різні технології, спрямовані на підвищення безпеки харчових продуктів. Завдяки своїй високій харчовій цінності та швидкопсувній природі м’ясо чутливе до мікробного зараження, що становить ризик як для якості, так і для здоров’я населення. Попередні дослідження показали, що цю проблему можна ефективно вирішити, використовуючи обробку холодною плазмою як метод нетермічної пастеризації м’яса та м’ясних продуктів.

Широкий спектр мікроорганізмів може бути ефективно інактивований шляхом обробки холодною плазмою, яка генерує реактивні компоненти, летальні для клітин. Кисень у повітрі утворює АФК, які мають тенденцію реагувати з іншими молекулами кисню, що призводить до утворення синглетного кисню, гідроксильного радикалу, супероксид-аніону, перекису водню та озону під час утворення плазми. Було показано, що озон має більші мікробіцидні властивості завдяки відносно тривалому терміну служби. Крім того, утворення холодної плазми призводить до RNS, включаючи пероксинітрит, оксид азоту та нітрит.

Інактивація мікроорганізмів плазмою відбувається за рахунок того, що індуковані плазмою реактивні компоненти в першу чергу руйнують мембрану клітинної стінки бактерій. Вільні радикали, присутні в плазмі, можуть адсорбуватися на поверхні мікроорганізмів і дифундувати в клітинну мембрану, спричиняючи пошкодження білків і нуклеїнових кислот. Були запропоновані різні мікробіцидні механізми для грампозитивних і грамнегативних бактерій і припущено, що мікробіцидний вплив обробки холодною плазмою на грампозитивні бактерії в основному зумовлений окислювальним пошкодженням внутрішньоклітинних компонентів, зокрема ДНК без витоку клітин. У грамнегативних бактерій незворотне руйнування клітинної стінки через окислювальне пошкодження призводить до витоку внутрішньоклітинних сполук, таких як білок, ДНК і ліпіди, що призводить до інактивації мікробів.

Багато досліджень виявили значний вплив технології холодної плазми на мікробну дезактивацію м’яса та м’ясних продуктів та виявлено мікробіцидну дію

холодної плазми на звичайні мікроорганізми, що містяться в курці, свинині, яловичині, баранині та продуктах обробленого м'яса, таких як бекон, шинка та в'ялене м'ясо. Результати чітко показали, що технологія холодної плазми може досягти суттєвого логарифмічного зменшення досліджуваних мікробів. Наприклад, повідомлялося про зниження від 0,43 до 6,52 Log КУО/г кількості *L. monocytogenes* в інокульованому м'ясі та м'ясних продуктах після обробки холодною плазмою. Крім того, дослідження, проведені для підвищення безпеки м'яса та м'ясних продуктів, виявили зниження *E. coli* на 0,34–7,50 Log КУО/г і зниження кількості Typhimurium на 0,98-5,30 Log CFU/g . Обробка курячої грудки та Bresaola плазмою холодного атмосферного газу показала зниження рівня *Listeria innocua* на 3,30 та 1,60 Log КУО/г відповідно. Крім того, від 1,33 до 4,00 Log CFU/г кількість *S. aureus* зменшується в курчаті, яловичині та в'яленому м'ясі і зниження від 0,78 до 2,55 Log CFU/г кількості *Campylobacter jejuni* в курячій шкірі та грудках було зареєстровано після обробки холодною плазмою.

Перешкодні технології на основі холодної плазми з'явилися як інноваційні стратегії мікробної дезактивації в харчовій промисловості. Ці технології поєднують холодну плазму з іншими перешкодами, такими як помірне тепло, хімічні антимікробні засоби (органічні кислоти, ефірні олії), ультразвукова техніка, агенти біоконтролю та наноматеріали, які нещодавно використовувалися як нові стратегії мікробної дезактивації. Недавнє дослідження досліджували синергетичну бактерицидну дію низину та холодної плазми на в'ялену яловичину та нарізану шинку. Обробка з перешкодами, що поєднує низин і плазму, продемонструвало 100% зниження як *E. coli* , так і *L. monocytogenes*, перевищуючи ефективність окремих обробок. Подібним чином, коли технологія атмосферної плазми DBD поєднувалася з оцтовою кислотою (тобто оцтовою кислотою, активованою плазмою), це викликало зниження *S* . Typhimurium, ніж оцтова кислота окремо, і покращує якість курячого м'яса. Обробка перешкод холодною плазмою та пероцтовою кислотою, застосованою для інактивації *S* . Typhimurium у сирої птиці продемонстрував більше log-зменшення (3,8–5,3 Log КУО/см^2) порівняно з індивідуальним лікуванням

пероцтовою кислотою (0,6–1,3 Log КУО/см^2. Крім того, було показано, що обробка холодною плазмою збільшує інактивацію *L. monocytogenes* у свинячій корейці в поєднанні з олією лемонграсу (2,80 Log КУО/г) порівняно з застосуванням окремої холодної плазми (0,96 Log КУО/г) або обробки олією лемонграсу (0,59). Log CFU/g. Важливо зазначити, що ефективність цих перешкод може відрізнятися через відмінності в умовах обробки плазмою (таких як потужність, час і склад газу), які генерують різні реакційноздатні речовини.

5.12.3. Вплив холодної плазми на фізико-хімічні та сенсорні показники

Було проведено численні дослідження, щоб з'ясувати вплив технології холодної плазми на фізико-хімічні властивості м'яса та м'ясних продуктів, але результати виявилися суперечливими. Кольорові показники не змінювалися на поверхні шкіри курячої грудки чи стегна, а також на свинині під час обробки холодною плазмою. Проте застосування плазмової технології призвело до незначного зниження готової до вживання брезаоли, яловичини, свинини та птиці. Вплив холодної плазмової обробки м'яса на значення pH є незначним.

> **Брезаола** – сиров'ялена м'ясна вирізка, страва італійської кухні. Термін «bresaola», ймовірно, походить від латинського «лат. brasaula», що означає «солоне, смажене м'ясо», тому що раніше початкові етапи сушки проходили в приміщеннях, нагрітих за допомогою вогню.

Навпаки, повідомлено про значне зниження pH свинини після обробки плазмою. Результати дуже небагатьох досліджень сенсорних даних м'яса та м'ясних продуктів, оброблених плазмою, показали, що холодна плазма має певний негативний вплив на деякі сенсорні параметри м'яса. Застосування технології холодної плазми негативно впливає на сенсорні властивості м'яса, такі як зовнішній вигляд, колір, запах і прийнятність. Проте сенсорний аналіз зразків вареної свинячої частини та яловичої корейки, оброблених гнучкою тонкошаровою DBD плазмою, не виявив відмінностей у зразках свинини та яловичини щодо зовнішнього вигляду, кольору, неприємного смаку, загальної

прийнятності та параметрів текстури, таких як твердість, клейкість, пружність, зв'язність і розжовування. Проте плазмова обробка DBD негативно вплинула на переваги споживачів щодо смаку обох зразків м’яса.

Утворення радикалів і АФК під час обробки плазмою може індукувати окислення ліпідів і виробництво пов’язаних побічних продуктів, таких як малоновий діальдегід (MDA) і гексанал. Це може сприяти варіаціям сенсорних властивостей м’яса та м’ясних продуктів після обробки плазмою, особливо джерел м’яса з високим вмістом жиру, наприклад свинини. Обробка холодною плазмою підвищила рівень окислення ліпідів у яловичині, свинині, птиці та продуктах з них, таких як брезаола та яловичий котлет. Між тим, обробка холодною плазмою м’яса та м’ясних продуктів не впливає на окислення ліпідів. Відповідно, очевидно, що рівень окислення ліпідів у м’ясі та м’ясних продуктах загалом залежить від потужності плазми, часу обробки, типу м’яса та зберігання. Крім того, вчені запропонували кілька стратегій обмеження окислення ліпідів за допомогою обробки холодною плазмою, наприклад, усунення O_2 , застосування нижчої напруги, використання коротшого часу обробки, зменшення концентрації жиру та ненасичених жирних кислот у м’ясі чи м’ясних продуктах, які підлягають обробці плазмою. та додавання антиоксидантів.

Нітрит, який найчастіше використовується в м’ясній промисловості, сприяє виробленню кольору та аромату м’ясних продуктів. Крім того, він відіграє важливу роль у пригніченні окислення ліпідів і контамінації патогенними мікробами, включаючи *Clostridium botulinum,* у в’ялених м’ясних продуктах. Однак у зв’язку зі зростанням негативного ставлення споживачів до синтетичних харчових добавок вчені перенесли свою увагу на натуральні альтернативи.

Зараз добре задокументовано, що обробка рідин холодною плазмою може генерувати нітрит. Вода, активована плазмою, містить нітрати та нітрити, а детальні реакції, пов’язані з утворенням нітритів та нітратів у воді, активованій плазмою, пояснюються в огляді, опублікованому. Оскільки технологія холодної плазми містить RNS та оксиди азоту, включаючи NO_2, NO_3, N_2O, N_3O та N_2O_5,

які можуть утворювати азотну та азотисту кислоти, реагуючи з молекулами води та згодом розкладаючись на нітрати та нітрити , це може бути потенційним джерелом нітритів для консервування обробленого м'яса. Слід зазначити, що нітрит, утворений плазмою в лужних умовах, може зберігатися. Наприклад, дистильована вода, оброблена холодною плазмою, що містить пірофосфат натрію, може містити до 782 мг/л нітриту. Таким чином, холодна плазма була ідентифікована як потенційний новий консервант для м'ясних продуктів, оскільки вона може забезпечувати характеристики, подібні до синтетичних нітритів. Порівнянні показники якості м'яса, такі як колір, окислення ліпідів і сенсорні характеристики, були виявлені в емульсійних ковбасах і окістах свинячої корейки, коли вони були витримані з використанням води, обробленої плазмою, і нітриту натрію. Важливо відзначити, що залишковий вміст нітритів у двох продуктах, отверженних за допомогою плазмово обробленої води, був нижчим, ніж у тих, які витримали нітритом натрію. Крім того, досліджено потенційне використання обробки холодною плазмою для отримання нітритів у м'ясному клярі з рівнями від 42 до 65,96 мг/кг. Крім того, консервована мелена шинка, приготовлена з м'ясного фаршу, обробленого холодною плазмою, продемонструвала подібні властивості щодо кольору, залишкового вмісту нітритів, текстури та сенсорних властивостей порівняно з тими, що витримані при подібних рівнях нітритів з використанням нітриту натрію або порошку селери.

Досліджено механізм зеленого забарвлення міоглобіну, викликаного холодною плазмою, і встановлено, що нітрозоміоглобін, який є основною сполукою для бажаного рожевого кольору, може вироблятися у відновленому м'ясі після обробки плазмою. Крім того, повідомлено про ефективний спосіб підвищення рівня нітритів у цибульному порошку за допомогою плазмової обробки для використання в якості природних матеріалів із додатковою здатністю до консервування м'яса. Цікаво, що природні нітрити були отримані з *Perilla frutescens* рослини без початкового вмісту нітратів після обробки холодною плазмою. Крім того , отриманий ліофілізований порошок після

обробки плазмою продемонстрував підвищену антимікробну активність проти *C. perfringens* і *S. Typhimurium* на відміну від без лікування плазмою.

Нажаль якісні характеристики м’яса, обробленого плазмою, ще мало досліджені. Окислення ліпідів може бути викликане в м'ясі та м'ясних продуктах з високим вмістом жиру після обробки плазмою. Повідомлялося про розвиток деяких неприємних присмаків у м’ясі та м’ясних продуктах через розвиток прогірклості під час подальшого зберігання. Крім того, було виявлено зміну кольору та погіршення текстури м’яса, обробленого плазмою. Отже, існує потреба в дослідженнях, спрямованих на уповільнення окислення ліпідів у м’ясі та м’ясних продуктах, оброблених плазмою.

Дані про хімічні залишкові ефекти та потенційну токсичність м’яса та м’ясних продуктів, оброблених плазмою, обмежені. Кілька досліджень повідомляли про відсутність мутагенності м’яса та м’ясних продуктів, оброблених холодною плазмою або витриманих у плазмообробленій воді. Проте необхідні подальші дослідження для повного підтвердження безпеки м’яса та м’ясних продуктів, оброблених холодною плазмою, що було б життєво важливим для прийняття рішень та регулювання процесу.

Кінцеві продукти реакції плазмоактивних речовин та інших хімічних речовин, таких як ефірні олії, досі не повністю вивчені. Крім того, існує потреба дослідити точні механізми хімічної взаємодії з харчовими інгредієнтами та їх вплив на якісні показники м’ясних продуктів. Це призведе до розробки безпечних і якісних м’ясних продуктів за технологією холодної плазми. Плазмооброблене м’ясо та продукти з нього можуть стати мікробіологічно небезпечними, якщо їх обробляти ретельно. Тому для мінімізації забруднення після обробки необхідно застосовувати правильні методи та матеріали пакування. Тому необхідні подальші дослідження для встановлення технології холодної плазми для м’яса та м’ясних продуктів і розуміння якісних характеристик м’яса та продуктів з нього, щоб оптимізувати технологію для конкретних застосувань у м’ясопереробній промисловості.

У контексті зростаючої стурбованості патогенами харчового походження, забезпечення безпеки та якості м’яса та м’ясних продуктів для споживачів створює серйозні проблеми для м’ясної промисловості. Останнім часом технології нетермічної обробки харчових продуктів привернули увагу в різних секторах харчової промисловості, включаючи переробку м'яса та птиці. Холодна плазма – це нова економічно ефективна нетеплова технологія з високою мікробіцидною ефективністю без необхідності зловживання температурою, що робить її багатообіцяючою альтернативою традиційним методам консервування м’яса. Активні форми кисню та азоту, що утворюються в плазмі, не тільки ефективно інактивують мікроорганізми, але й дозволяють дослідникам безпечно застосовувати цю технологію до біологічних матеріалів, включаючи їжу. Крім того, доведено, що рідини, оброблені плазмою, утворюють нітрит, який може виступати в якості затверджувача у в’ялених м’ясних продуктах.

Зростаючий попит на стале виробництво харчових продуктів і зростаюча перевага споживачів до свіжих, здорових і безпечних харчових продуктів викликають потребу в інноваційних методах обробки та збереження їжі. У м’ясній промисловості цей попит призвів до розробки нових втручань, спрямованих на подовження терміну придатності м’яса та продуктів з нього, зберігаючи при цьому їх якість і харчову цінність. Холодна плазма нещодавно стала предметом великого інтересу в м’ясній промисловості через її потенціал для підвищення мікробіологічної безпеки м’яса та продуктів з нього. У цьому огляді обговорюються останні дослідження щодо можливого застосування холодної плазми в м’ясопереробній промисловості, враховуючи її вплив на різні параметри якості та її потенціал для збереження та покращення м’яса. У зв’язку з цим багато досліджень повідомляють про значну антимікробну ефективність технології холодної плазми у яловичині, свинині, баранині та курчаті, а також продуктах із них із незначними змінами фізико-хімічних властивостей. Крім того, застосування холодної плазми в обробці м’яса показало багатообіцяючі результати як потенційного нового консервуючого агента для в’ялених м’ясних продуктів (рис. 14).

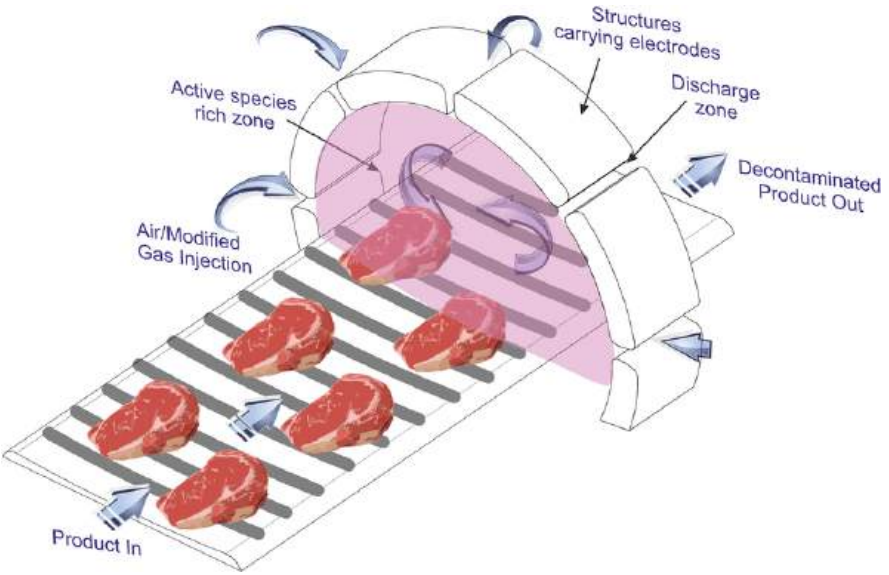


Рис. 14. Концептуальний проект установки безперервної холодної плазмової дезактивації промислового масштабу [12]

Розуміння механізмів дії та взаємодії між холодною плазмою та харчовими інгредієнтами має вирішальне значення для подальшого вивчення потенціалу цієї технології в м'ясній промисловості, що зрештою призведе до розробки безпечних і високоякісних м'ясних продуктів із використанням технології холодної плазми.

5.12.4. Використання антисептичного льоду з плазмохімічно активованих водних розчинів при зберіганні м'ясної сировини

Низькотемпературна плазма – це передова технологія, яка привернула велику увагу через її здатність знезаражувати харчову сировину різного походження. Активована плазмою вода містить багато різноманітних високореактивних форм кисню і активних форм азоту. Відповідно до останніх досліджень основна увага приділяється впровадженню плазмохімічних

технологій для підвищення безпеки харчових продуктів (як біологічної, так і хімічної). Плазмохімічно оброблена вода має вплив на якість харчових продуктів (хімічні, фізичні і сенсорні властивості). Їх використовують в якості середовища для розморожування, консервування продуктів в поєднанні з іншими традиційними методами обробки. Механізм мікробної інактивації за допомогою активованої плазмою водою розділений на три основні етапи, включаючи руйнацію клітинної мембрани, руйнацію внутрішньоклітинних компонентів і вивільнення внутрішньоклітинних матеріалів и складових рис. 15.

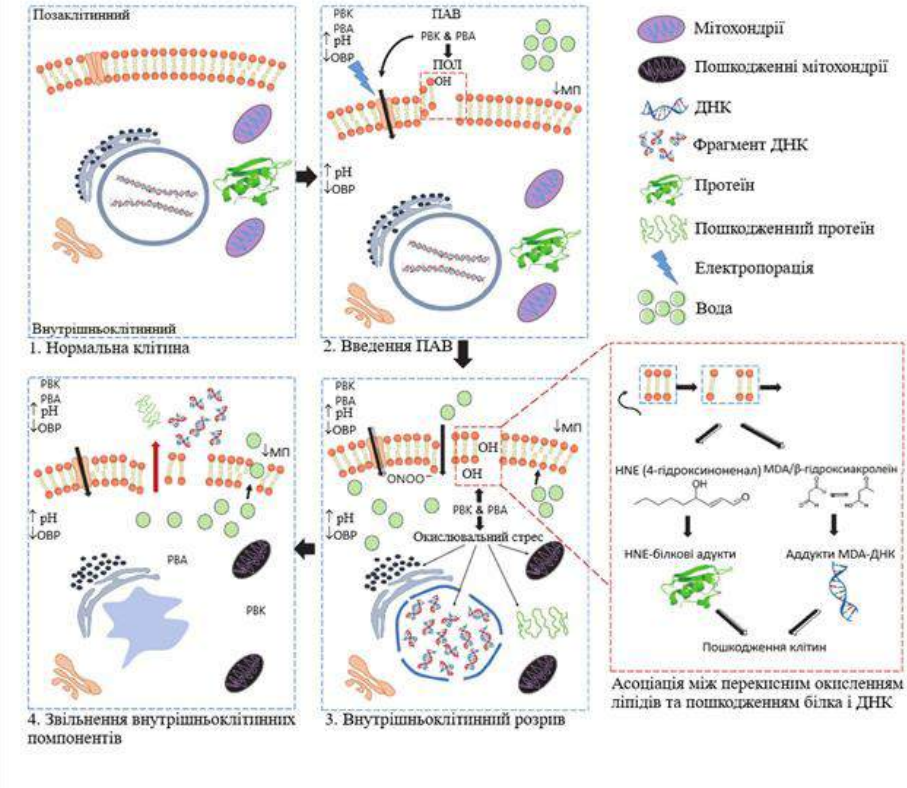


Рис. 15. Механізм мікробної інактивації за допомогою активованої плазмою водою [14]

Тому подальше вивчення використання плазмохімічної активації водних розчинів з подальшим їх заморожуванням і виробництвом антисептичного льоду є актуальним напрямком досліджень. Важливим і мало вивченим аспектом є вивчення впливу плазмохімічно активованих водних розчинів на мікробіологічні показники сировини, що зберігається тривалий час.

Активування води та водних розчинів шляхом плазмохімічної обробки є першим кроком до використання властивостей води без її примусової хімізації сторонніми хімічними речовинами. Так, всі процеси, які відбуваються під час активації є процесами, які проходять безпосередньо в воді без додавання сторонніх хімічних компонентів. Реактогенні властивості активованої води викликають підвищений інтерес вчених, оскільки властивості води, які виникають після активації можуть стати відправним пунктом в розвитку нового напрямку нанотехнологій. Активована під дією контактної нерівноважної плазми вода має антисептичні та антибактеріальні властивості. Однак, слід зазначити, що така вода, являє собою кластерну структуру після плазмової обробки, може проявляти деякі нові властивості, раніше мало вивчені, але які викликають інтерес з практичної точки зору. Отримана активована вода має специфічний склад. Найбільш легко піддаються виявленню продукти реакції, які визначають реакційну здатність такої води. В першу чергу це стосується пероксиду водню та надперекисних сполук, збуджених часток та радикалів, які відіграють важливу роль в окисно-відновних процесах. Також слід зазначити, що така вода після обробки плазмою може проявляти деякі нові властивості, раніше маловивчені. Особлива роль в цьому випадку відводиться дослідженням впливу активованої води на технологічні параметри деяких процесів в харчових, біохімічних та біотехнологічних виробництвах. Коли мова йдеться про кінцеві компоненти в воді та водних розчинах після обробки їх нерівноважною контактною плазмою, їх можливо уявити як суміш пероксиду водню, надперекисних компонентів та активних радикалів та часток. Але їх кількісні характеристики (мкг та мільйоні долі) такі, що вони в ніякому разі не можуть

зашкодити здоров'ю людини. Особливість дії таких компонентів полягає в декількох напрямках.

Результати дослідження впливу льоду з плазмохімічно активованих водних розчинів на зберігання м'ясної сировини

В основу технології покладено розширення асортименту харчових продуктів, що зберігаються шляхом використання екологічно чистого і безпечного антисептичного льоду, отриманого на основі плазмохімічно активованих водних розчинів. Для досягнення бажаного технічного результату був виготовлений антисептичний лід шляхом заморожування водних розчинів відрізняється тим, що заморожують плазмохімічно активовані водні розчини при температурі від мінус 5 до мінус 40 °С. Характеристику активованої води, яка використовується для виробництва антисептичного льоду наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристики води активованої під дією контактної нерівноважної плазми

Дослід	Вода	Час активації, хв.	Концентрація пероксиду водню, мг/л
1 (контроль)	Водопровідна	-	-
2	Активована	10	300
3	Активована	20	400
2	Активована	30	600
4	Активована	40	650
5	Активована	60	700

Активацію води проводили за допомогою лабораторної плазмохімічної установки (рис. 16). Підготовка плазмохімічно-активованих водних розчинів проводилась на базі спеціалізованої лабораторії плазмової обробки технологічних розчинів харчових виробництв. Усі дослідження були виконані в

Науково-виробничій лабораторії кафедри харчових технологій Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

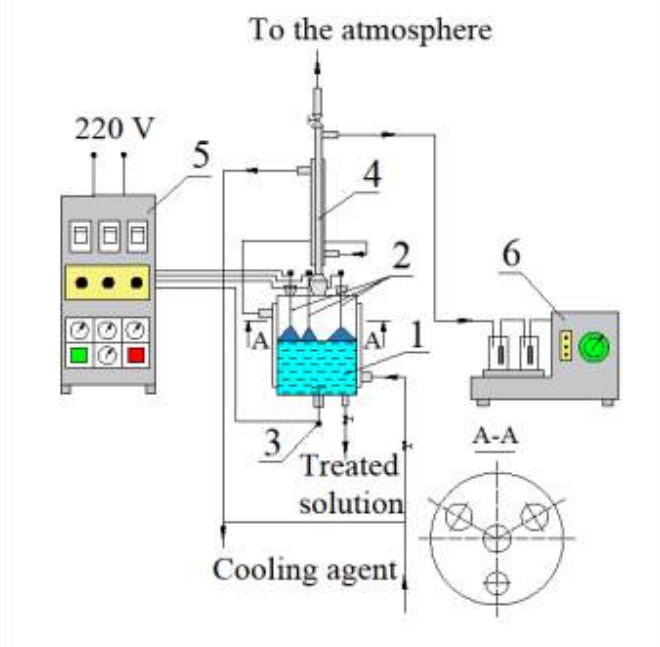


Рис. 16. Схема лабораторної трьох дугової плазмохімічної установки [15]:
1 – реактор; 2 – аноди; 3 – катод; 4 – зворотний холодильник;
5 – джерело живлення; 6 – вакуумний насос.

Активували водопровідну воду в плазмових розрядах зниженого тиску з напругою 1000–1200 В, силою струму 30.0–200.0 мА з наступним переходом по мірі підвищення електропровідності в режим контактної нерівноважної плазми з параметрами: напруги від 400 до 600 В та сили струму до 150 мА.

Заморожували плазмохімічно активовані водні розчини в спеціальних блок-формах або на льодогенераторах при температурі від мінус 5 до мінус 40 °С. Отриманий лід подрібнювали на льододробарці.

Подальша обробка харчового продукту відбувалась шляхом його зберігання (можливо шляхом перемішування) в подрібненому льоді, отриманому, як описано вище, на основі плазмохімічно активованих водних розчинів.

На початковому етапі досліджень проводили аналіз впливу антисептичного льоду на зміну органолептичних показників м’яса. Антисептичний лід був взятий з максимальною концентрацією пероксидів 700 мг/л, що дало змогу виявити можливі порушення органолептичних показників сировини, що могли б спричинити талі плазмохімічно активовані розчини. Встановлено, що при використанні запропонованого антисептика органолептика сировини була незмінна, про що свідчать результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Органолептичні показники сировини при використанні антисептичного льоду

Показник	Сировина	
	М'ясо	
До експерименту:		
колір	червоний, властивий м’язовій тканині	
запах	властивий м’ясній сировині	
Після охолодження з додаванням льоду	контроль	дослід (зберігання в антисептичному льоді)
колір		
1 доба	властивий	властивий
5 діб	властивий	властивий
10 діб	зміна кольору	властивий
15 діб	зміна кольору	властивий
30 діб	зміна кольору	властивий
запах		
1 доба	властивий	властивий
5 діб	властивий	властивий
10 діб	зміна запаху	властивий
15 діб	зміна запаху	властивий
30 діб	зміна запаху	властивий

Аналізуючи дані табл. 2 необхідно відмітити, що при використанні антисептичного льоду отриманого з плазмохімічно активованих водних розчинів, був майже відсутній неприємний властивий м’ясній сировині запах.

Колір при використанні антисептичного льоду залишався незмінним протягом тривалого періоду часу, а саме, на протязі 30 діб.

Після отримання результатів органолептичної оцінки був проведений мікробіологічний аналіз. Слід відмітити, що стійкість сучасних штамів мікроорганізмів до дезінфікуючих речовин, та зростання їх антибіотикорезистентності вимагає розробки нових дезінфекторів.

Використання антисептичного льоду отриманого з плазмохімічно активованих водних розчинів, направлене на збільшення строків зберігання харчового продукту, пригнічення життєздатної мікрофлори, що викликає псування продукції без використання хімічних засобів та антибіотиків, за рахунок антимікробної дії водних розчинів, що утворюються при таненні бактерицидного льоду і можливе зниження температури плавлення бактерицидного льоду. Результати по мікробіологічному дослідженню санітарного стану м'яса в табл. 3.

Куряче м'ясо (філе, стегно та ін.), свинину і яловичину перемішували з подрібненим бактерицидним льодом, укладали в тару. Зберігають при температурі від 0 до мінус 2 °С. Використання антисептичного льоду з плазмохімічно активованих водних розчинів забезпечує збільшення строків зберігання курячого м'яса в 2-4 рази за рахунок зниження загальної кількості мікроорганізмів на поверхні курячого м'яса (табл. 3).

Таблиця 3. Дослідження мікробіологічного стану (КМАФАнМ) м'яса при зберіганні в антисептичному льоді отриманому з плазмохімічна активованих водних розчинів, КУО/г

Доба зберігання	Контроль	Концентрація пероксидів в плазмохімічно активованих водних розчинах, мг/л						
		100	200	300	400	500	600	700
Куряче м'ясо								
1	$4,3*10^2$	$1,6*10^2$	$1,0*10^2$	<10	0	0	0	0
5	$8,6*10^4$	$1,0*10^3$	$1,3*10^2$	<10	0	0	0	0

10	$4,3*10^5$	$5,4*10^3$	$1,7*10^2$	<10	0	0	0	0
15	$9,3*10^7$	$4,6*10^4$	$2,3*10^3$	$1*10^2$	0	0	0	0
20	$5,7*10^9$	$9,1*10^4$	$3,5*10^4$	$2*10^2$	<10	0	0	0
25	$7,3*10^{10}$	$5,4*10^4$	$5,1*10^5$	$4*10^2$	<10	<10	0	0
30	$7,1*10^{12}$	$9,3*10^4$	$6,7*10^5$	$5*10^2$	<10	<10	0	0
Свинина								
1	$3,6*10^2$	$2,1*10^2$	$1,3*10^2$	<10	0	0	0	0
5	$7,3*10^4$	$2,4*10^3$	$2,4*10^2$	<10	0	0	0	0
10	$3,2*10^5$	$3,6*10^3$	$5,1*10^2$	<10	0	0	0	0
15	$6,1*10^7$	$5,4*10^4$	$3,4*10^3$	$2*10^2$	0	0	0	0
20	$8,4*10^9$	$7,3*10^4$	$6,1*10^4$	$3*10^2$	<10	0	0	0
25	$6,1*10^{11}$	$8,5*10^4$	$7,7*10^5$	$5*10^2$	<10	<10	0	0
30	$4,5*10^{14}$	$6,4*10^4$	$8,5*10^5$	$7*10^2$	<10	<10	0	0
Яловичина								
1	$7,1*10^2$	$2,3*10^2$	$1,4*10^2$	<10	0	0	0	0
5	$6,5*10^4$	$1,5*10^3$	$3,3*10^2$	<10	0	0	0	0
10	$5,7*10^5$	$4,4*10^3$	$6,5*10^2$	<10	0	0	0	0
15	$8,6*10^7$	$6,1*10^4$	$1,2*10^3$	$2*10^2$	0	0	0	0
20	$9,1*10^9$	$5,8*10^4$	$7,1*10^4$	$3*10^2$	<10	0	0	0
25	$4,7*10^{10}$	$7,4*10^4$	$6,8*10^5$	$5*10^2$	<10	<10	0	0
30	$5,4*10^{14}$	$8,2*10^4$	$8,7*10^5$	$6*10^2$	<10	<10	0	0

Аналізуючи динаміку зміни мікрофлори в досліджуваних зразках м’яса, слід відмітити виражений дезінфікуючий ефект. Якість м’ясної сировини при зберіганні залежить не тільки від санітарно-гігієнічного стану навколишнього середовища, але і від ступеня його першопочаткового мікробіологічного забруднення. В процесі зберігання сировини в охолодженому стані відбувається зміна кількості мікроорганізмів. Так в контрольному варіанті кількість мікрофлори збільшується, це відбувається поступово, оскільки при низьких температурах розвиток мезофільних мікроорганізмів на поверхні м’яса припиняється. У дослідних зразках, що зберігались в антисептичному льоді спостерігалося пригнічення мікрофлори по мірі збільшення концентрації

пероксидів в розчинах. Так при досягненні концентрації 600 мг/л пероксидів відбувалась повна деконтамінація патогенної мікрофлори і поверхня сировини ставала умовно стерильною. Причому сталий антисептичний ефект зберігався протягом всього дослідного періоду, про що свідчать результати наведені в табл.3.

Бактерії групи кишкової палички в процесі охолодження не гинуть, вони, як правило, не викликають порчу м’яса, проте можуть стати причиною харчових отруєнь. Було проведено моніторинг їх наявності в зразках, результати наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Дослідження наявності БГКП (колі-форми) в м’ясі та рибі при зберіганні в антисептичному льоді отриманому з плазмохімічна активованих водних розчинів (в 0,001 г)

Доба	Контроль	Концентрація пероксидів в плазмохімічно активованих водних розчинах, мг/л						
		100	200	300	400	500	600	700
Куряче м'ясо								
1	виявлено	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
5	виявлено	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
10	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
15	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
20	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
25	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
30	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Свинина								
1	виявлено	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
5	виявлено	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
10	виявлено	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
15	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
20	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
25	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
30	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено

Яловичина								
1	виявлено	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
5	виявлено	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
10	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
15	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
20	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
25	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
30	виявлено	виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено

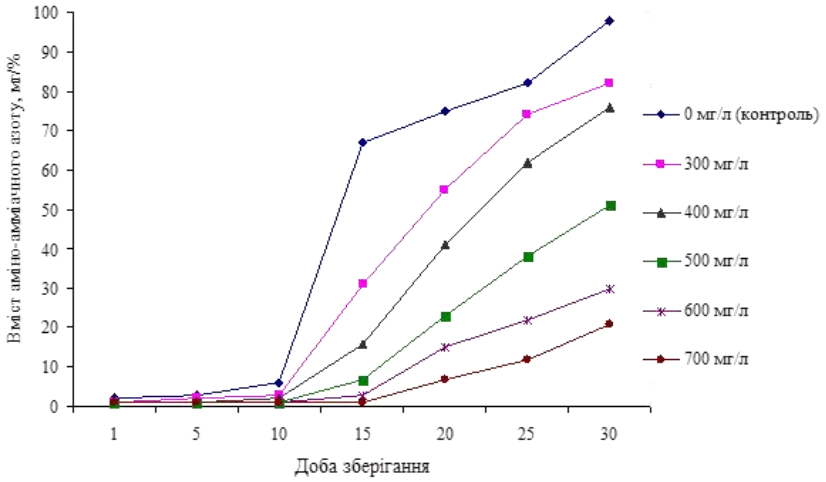
Аналізуючи результати наведені в табл. 5 необхідно відмітити дієвість використання запропонованого антисептичного льоду при знезараженні сировини від кишкової палички. Так у всіх зразках відмічається повна деконтамівнація БГКП вже при концентрації пероксидів 400 мг/л, що свідчить про перспективність використання такого льоду в процесі зберігання м'ясної сировини. Крім того при зберіганні протягом 30 діб відмічено тривалий антисептичний ефект льоду. Слід відмітити підвищену чутливість БГКП до антисептичного льоду на основі плазмохімічно активованих розчинів, а саме, спостерігається повна інактивації бактерій групи кишкової палички на поверхні досліджуваної сировини.

Такий протимікробний ефект пояснюється тим, що в складі активованих водних розчинів, як було зазначено вище, є пероксид водню та надперекисні сполуки. Пероксид водню є загальноприйнятим класичним антисептиком, потрапляючи в клітини під дією ферментів (пероксидази та каталази) він розщеплюється на воду і кисень, що має протимікробну дію, але при цьому в клітинах не залишається шкідливих хімічних сполук, тож не виникає хімічного забруднення харчової сировини. Плазмохімічно активовані водні розчини не привносять небажаних запахів і смаків та дозволяють не використовувати хімічні консерванти.

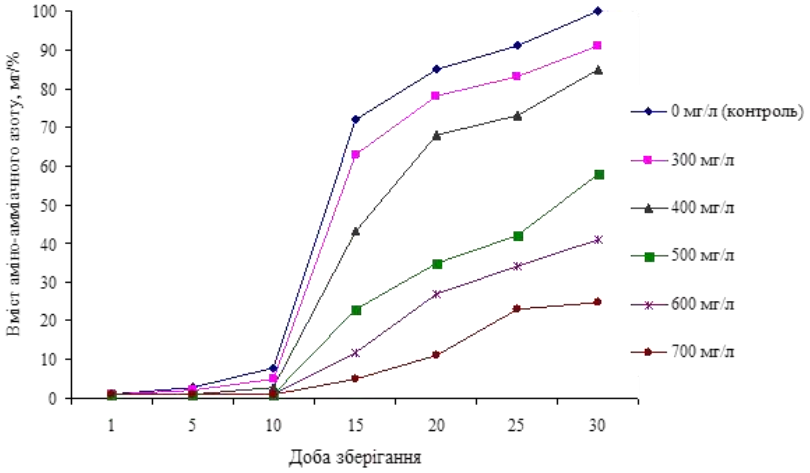
Одним з можливих механізмів впливу активованих водних розчинів на бактерії є зміна зовнішніх шарів клітини, яка робить доступними рецептори для реактогенних ензимів, наприклад лізоциму. Вільні радикали утворюють пролом в клітинній стінці, що призводить до втрати виборної проникненості. Пероксид водню, який входить в склад активованих водних розчинів, викликає у мікроорганізмів руйнування поверхневих структур та внутрішніх мембран. Цілісність цитоплазматичної мембрани порушує роботу ряду пов'язаних з мембраною ферментів, наприклад дегідрогеназ, та знижує ефективність роботи систем репарації ДНК. Бактерицидна активність пероксиду водню і активованих водних розчинів, в першу чергу, пов'язана з їх високою окисною здібністю, а також з дією токсичних продуктів, які виникають при пероксидному окисленні ліпідів. Пероксидне окислення впливає на білки рибосом, викликаючи їх руйнування. Руйнуванню структури мембран сприяють і утворені надперекисні сполуки. Дія пероксиду водню або активованої води викликає локальну руйнацію цілісної клітинної стінки і порушення проникненості бактеріальних клітин вже в перші хвилини контакту.

Під час зберігання м'ясної під дією протеолітичних ферментів бактерій проходить розщеплення білкових речовин з утворенням сполук аміаку у вигляді його солей і вільних амінокислот, за кількістю яких можна судити про свіжість або псування продукту. Тому було проведено аналіз цього показника в процесі зберігання у всіх представлених зразках сировини. Результати наведені на рис. 17. Проведені дослідження свідчать про збільшення цього показника під час зберігання. Такі результати є очікуваними, оскільки в процесі зберігання відбувається розкладання білків. Проте відзначимо, що при зберіганні сировини в антисептичному льоді з плазмохімічно активованих водних розчинів, накопичення аміно-аміачного азоту протікає повільніше. Тобто розпад білка проходить більш інтенсивно у зразках, що зберігались в льоді зі звичайної водопровідної води. Використання плазмохімічно активованих водних розчинів для виробництва антисептичного льоду і зберігання в ньому м'ясної сировини дозволяє частково попередити процеси розкладання білків і відповідно,

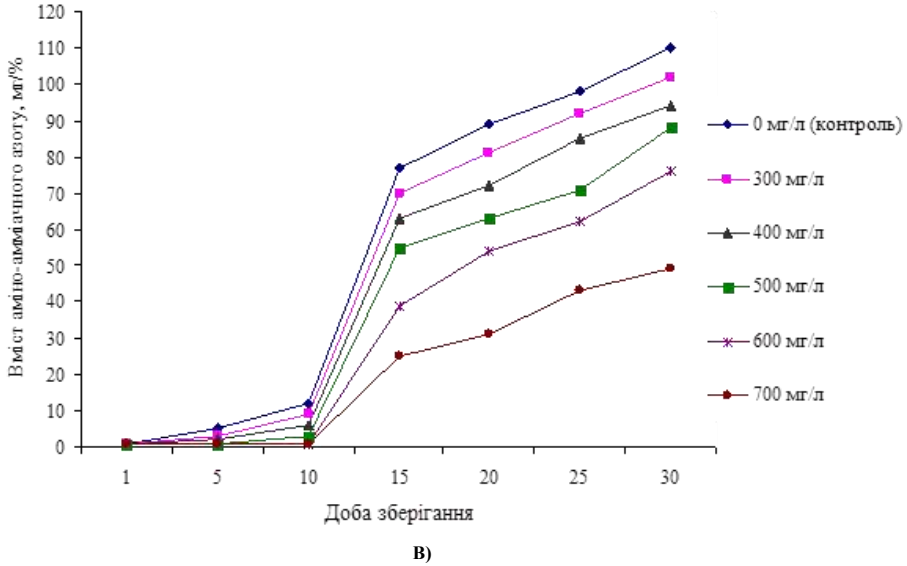
збільшити строки зберігання продукту, про що свідчать результати досліджень. Це дозволяє говорити про можливість довготривалого зберігання досліджуваної сировини.



А)



Б)



в)

Рис. 17. Вміст аміно-амміачного азоту в:
А – курячому м’ясі; Б – свинині; В – яловичині.

Використання плазмохімічно активованих водних розчинів допомагає зберігати бажаний pH, а також, підтримує мікробіологічну стабільність харчової сировини при зберіганні, повністю замінюючи традиційні антисептики, харчові кислоти і підкислювачі. В промислових умовах плазмохімічно активовані водні розчини отримують на дослідно-промислових плазмохімічних установках рис. 18.

Тому запровадження використання представленої технології в промисловому виробництві є прийнятним і може представляти інтерес для переробної галузі і торгівельних мереж при охолодженні і зберіганні м’яса.

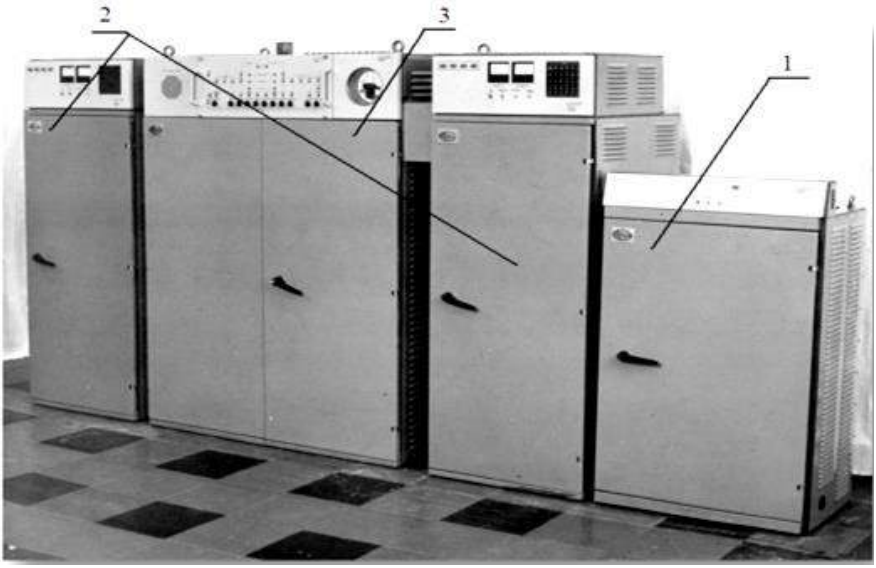


Рис. 18. Промислова плазмохімічна установка продуктивністю 1,5-2,0 м.куб./год. оброблених рідких середовищ: 1 – блок живлення, 2 – блоки управління плазмовими розрядами, 3 – реакторний блок.

Таким чином використання плазмохімічно активованих водних розчинів при приготуванні бактерицидного льоду дозволяє значно збільшити строки зберігання харчових продуктів без використання хімічних і фармацевтичних засобів за рахунок суттєвого зниження кількості мірофлори на поверхні продукту при його контакті з водними розчинами (водою), що утворюється при таненні антисептичного (бактерицидного) льоду. Висока антимікробна активність талої плазмохімічно активованої води та водних розчинів обумовлена вмістом пероксидів. Бактерицидний лід, отриманий шляхом заморожування плазмохімічно активованих водних розчинів, має знижену температуру плавлення за рахунок наявності в таких розчинах вільних активних радикалів.

Представлені результати показують, що антисептичний лід, отриманий з плазмохімічно активованих водних розчинів, збільшує строки зберігання

продуктів тваринного походження, при цьому не порушуючи екологічної безпеки самих продуктів і навколишнього середовища.

Питання для самоконтролю

1. Які форми опромінення застосовуються у м’ясному виробництві?
2. Для яких технологічних заходів використовують обробку м’яса гама-випромінюванням?
3. Які переваги електронний промінь має у порівнянні з гама-випромінюванням?
4. На якому принципі працює рентгенівське випромінювання у м’ясному виробництві?
5. Чи впливає радіаційне опромінення на ДНК м’яса?
6. У чому полягають переваги та недоліки опромінення м’яса?
7. В яких одиницях вимірюється доза опромінення?
8. Чи дослухається Україна до рекомендацій МАГАТЕ у застосуванні опромінювання у м’ясному виробництві?
9. Що означають терміни радуризація, радіцидація та радапертизація?
10. Чи змінюються хімічні властивості м’яса внаслідок впливу іонізуючого випромінювання?
11. Чи здатне іонізуюче випромінювання мінімізувати або повністю знищити патогенні мікроби, які викликають псування та деградацію м’яса?
12. Чи впливає іонізуюче випромінювання на споживчу якість м’яса?
13. За рахунок чого відбувається інактивація патогенних мікроорганізмів при обробці м’яса холодною плазмою?

Рекомендована навчальна література

1. Янчева М., Пешук Л., Дроменко О. Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса і м'ясних продуктів. К.: Центр навчальної літератури, 2017. 304 с.
2. Маньковський А. Я. Технологія продуктів забою тварин : підручник / А. Я. Маньковський, Т. А. Антонюк. К. : Агроосвіта, 2014. 336 с.
3. Пешук, Л. В. Основи тваринництва і ветеринарно-санітарної експертизи м'яса та м'ясних продуктів : підручник / Л. В. Пешук ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : Центр навч. літ-ри, 2011. 400 с.
4. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.

5. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.
6. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
7. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
8. Toldrá, F. (ed.). Handbook of meat processing. John Wiley & Sons, 2010. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/mbpcgh
9. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
10. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
11. Технологія м'яса та м'ясних продуктів : дайджест. Вип. 1. [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олабоді. 3-е вид., перероб. та доп. Київ, 2021.18 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://library.nuft.edu.ua/inform/myaso2015.pdf
12. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олабоді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

Розділ 6. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ М'ЯСА УДАРНОЮ ХВИЛЕЮ, УЛЬТРАЗВУКОМ ТА ІМПУЛЬСНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОЛЯМИ

6.1. Ударна хвиля як механічний імпульс тиску і її застосування для обробки м'яса і продуктів на його основі

«Ударна хвиля» – (Shockwave) – це нова захоплююча механічна та неінвазивна технологія обробки, яка може покращити ніжність м'яса. У середині 2017 року центр харчових інновацій CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) придбав перше в Австралії ударно-хвильове обладнання для використання в харчовій промисловості та першу установку комерційного масштабу у Німеччині. Щоб забезпечити диференціацію продукту за допомогою цієї нової можливості процесу, Shockwave потрібно буде налаштувати, перш ніж він буде готовий до використання в промисловості червоного м'яса. CSIRO вважає, що ця нова інноваційна технологія зможе забезпечити значні конкурентні переваги австралійським м'ясопереробникам.

Ударна хвиля – це механічний імпульс тиску. Вона може бути створена шляхом детонації вибухівки (перші системи, розроблені в 90-х роках), або розряду електричного струму під водою (поточне друге покоління). Ударні хвилі передаються через воду та будь-яке середовище, яке акустично відповідає воді. У точках, де властивості матеріалу відрізняються, виникає механічна напруга, яка, у свою чергу, спричинить розрив і руйнування матеріалу, який піддається ударній хвилі.

Найбільш перспективним застосуванням ударної хвилі на ранніх стадіях технології є тендеризація м'яса та риби. Оригінальна система ударної хвилі була заснована на детонуючих вибухових речовинах. У рамках дослідницького проекту на початку 1990-х років інтенсивно вивчалося розм'якшення м'яса яловичини і ягняти. У зв'язку з технічними труднощами вибухового методу нового покоління було розроблено обладнання, за допомогою якого ударна

хвиля генерувалася за допомогою системи розряду конденсатора, щоб подолати недоліки вибухової системи. Кульмінація дослідження цієї концепції призвела до розробка системи тендерних класів Hydrodyne. У лабораторних масштабах використання іскрової системи для генерування ударної хвилі продемонстровано потенціал для розм'якшення (покращення на 10%–57%) непошкоджених яловичих філей і стейків. Генерація ударних хвиль електричним розрядом відбувається шляхом перетворення електричної енергії високої напруги між двома електродами в механічну енергію. Компоненти такої системи включають джерело живлення високої напруги, конденсаторну батарею та перемикач високої напруги для розрядки накопиченої електричної енергії через електроди. Тому коливання зарядної напруги і ємність може змінювати енергію, прикладену до імпульсу. Інтенсивність можна додатково регулювати кількістю застосованих імпульсів. Далі був розроблений промисловий прототип безперервної обробки м'яса на основі генерації ударних хвиль електричним розрядом (Німецький інститут харчових технологій, DIL).

Останнє покоління цього прототипу показано на рис. 19 і воно розташоване в CSIRO в Брісбені та є першим блоком ударної хвилі в Австралії. Схожий агрегат, заснований на тому ж механізмі генерації ударної хвилі, також є розроблено в Японії. Ступінь розм'якшення залежить від багатьох факторів, як системи ударних хвиль, так і властивостей м'яса. З різних систем ударної хвилі, описаних у літературі, очевидно, що вплив на тендеризацію залежить від аспекти самої системи: (1) як генерується імпульс тиску та (2) параметри діаметра посудини під тиском, об'єм, склад та їхній вплив на відображення ударних хвиль через зразки м'яса. Для системи детонації вибухівки тип, кількість, форма та розміщення вибухової речовини, а також конфігурація та склад захисної ємності виявилися важливими.

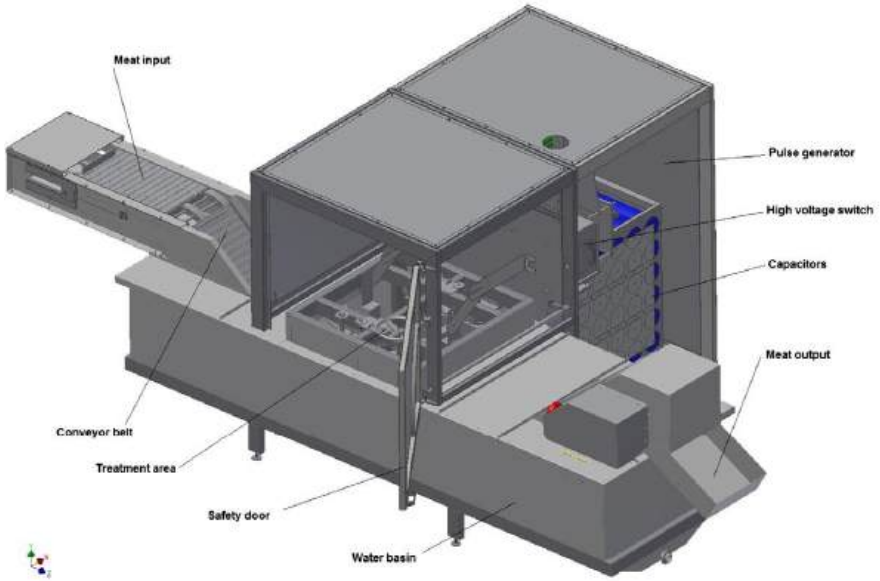


Рис. 19. Промисловий прототип безперервної обробки м’яса на основі генерації ударних хвиль електричним розрядом [16]

Вибухівка прямокутної форми призвела до більшого покращення ніжності (81%) яловичини longissimus порівняно з вибухівка циліндричної форми (56%) і це поліпшення чутливості зберігалося зі старінням протягом 6 днів для обох типів вибухових речовин. Для дослідження шоку використовувалися три види вибухових посудин хвильова технологія для покращення ніжності, і ступінь покращення змінювалася залежно від типу використовуваної судини. Пластикові посудини з плоскими рефлекторними пластинами на дні покращували ніжність м’язів яловичини (>40%), тоді як дослідження, присвячене дослідженню пластикової посудини зі сталевою рефлекторною чашею на дні, який імітував комерційний сталевий контейнер, показав, що він не був ефективним для розм’якшення напівсухожильного м’яса яловичини (<10% покращення). Комерційні сталеві контейнери (1060 л) були ефективними для розм’якшення яловичини (10%–24%), свинини (17%) та курки (42%); однак напівперетинчасті

м'язи яловичини внаслідок ударно-хвильової обробки для розм'якшення м'яса, обробленого вибуховою ударною хвилею в пластиковому контейнері, були більш ніжними (37%), ніж ті, що оброблені в комерційному сталевому контейнері (25%).

М’якість м’яса є важливим параметром якості, яка відноситься до загального сенсорного сприйняття окремого шматка м’яса та впливає на грошову вартість продукту. Це залежить від багато внутрішніх і зовнішніх факторів, таких як вид, генотип, стрес, вміст сполучної тканини та перехресне зшивання, а також остаточний pH і вік. Ніжність також може бути різною між м'язами всередині туші і це, частково можна віднести до типу власних м’язових волокон. Існує кілька втручань після забою, щоб покращити ніжність і консистенції, із загальною технікою старіння м’яса, оскільки це забезпечує час і умови середовища для ендогенного протеолітика коли ферменти порушують цілісність міофібрилярного і цитоскелетного білкові структури. Процеси старіння можна розділити на дві форми; сухе старіння, вологе або вакуумне витримування. Сухе дозрівання зазвичай застосовується до цілої туші або первинної сировини без упаковки в контрольованих умовах навколишнього середовища (температура, вологість, потік повітря), щоб забезпечити ферментативну тендеризацію і формування смаку в стерильній внутрішній частині м'яса. Вологе старіння є більш поширеною практикою, завдяки чому м'ясо первинних сортів витримується у вакуумній упаковці від 7 до 21 днів. Вакуумна упаковка також сприятлива для подовженого терміну придатності за допомогою споживчої сенсорики та аналіз, що підтверджує покращення якості їжі та ніжності (зокрема до 140 днів або 20 тижнів). Інші дослідження також показали, що мікробні підрахунки для смужок і кубічних рулонів можуть залишатися <7 log10 формування колоній одиниць на см^2 (КУО/см^2) до 30 тижнів за умови оптимального зберігання умовах (– 0,5 ◦C і у вакуумній упаковці). Це дозволяє м’ясу старіти в межах розподілу мережі в дорозі до точки продажу.

6.2. Обробка м’яса та м’ясопродуктів ультразвуком високої інтенсивності

6.2.1. Застосування ультразвуку низької та високої інтенсивності для обробки м’яса

Ультразвук високої інтенсивності (HIUS – High intensity ultrasound) має широкий спектр застосування в різних секторах харчової промисловості. Це багатообіцяюча та нова технологія, яка демонструє потенціал сприяння харчовим процесам без, принаймні, шкоди якості продуктів. Серед процесів м’ясної промисловості заморожування, розморожування, варіння та ферментація є дуже чутливими та важливими, оскільки вони мають значний вплив на якість продукту, а також потребують багато енергії та часу. HIUS може бути корисною технологією для переробки м’яса через його значний вплив на фактори якості та пов’язані змінні процесу, що призводить до збереження початкових поживних і сенсорних властивостей м’яса та продуктів з нього. Звичайно, необхідно продовжувати дослідження, щоб усунути недоліки або мінімізувати небажаний вплив цієї технології на кінцевий продукт і усунути перешкоди для комерціалізації та оптимізації цього методу.

Ультразвук є інноваційною технологією, яка базується на застосуванні механічних хвиль із частотою від 20 кГц до 10 МГц, які можна класифікувати на два діапазони частот: ультразвук низької інтенсивності (LIUS – low-intensity ultrasound), який використовує високі частоти між 100 кГц і 10 МГц при інтенсивності нижче 1,0 Вт·см$^{-2}$, тоді як ультразвук високої інтенсивності (HIUS) використовує інтенсивність вище 1,0 Вт/см^2 на низьких частотах від 20 кГц до 100 кГц. HIUS має здатність змінювати хімічні та фізичні властивості харчових продуктів під час фільтрації, сушіння, стерилізації, екстрагування, консервування харчових продуктів, емульгування, темперування, відбілювання тощо. Переваги застосування HIUS у харчовій промисловості полягають у підвищенні ефективності, покращенні масо- та теплообміну, скороченні часу обробки, посиленому фізичному змішуванні, нижчій температурі обробки, вибірковій екстракції, збільшенні виходу тощо. Застосування технології HIUS у

харчовій промисловості досягло хороших результатів. Крім того, HIUS можна використовувати в стратегії «зеленої обробки їжі» як ефективний інструмент для забезпечення високоякісних і безпечних продуктів харчування. Завдяки неінвазивній та неруйнівній природі LIUS ця технологія підходить для відстеження харчових процесів, надання оцінки фізико-хімічних змін їжі під час обробки, а також для аналізу та виявлення їжі. На відміну від LIUS, HIUS має сильну фізико-хімічну дію на харчові продукти. В останні роки дослідники зосередилися на вивченні впливу HIUS на обробку свіжого м'яса, включаючи переміщення маси або маринування , розм'якшення м'яса , заморожування та розморожування, сушіння, тощо. Під час обробки м'яса HIUS може модифікувати клітинну мембрану, допомагаючи висушувати, висушувати та розм'якшувати тканини. Основними показниками якості м'яса є ніжність, соковитість і аромат, а також органолептичні властивості. Багато досліджень показали, що HIUS позитивно впливає на якість м'яса. Однак є повідомлення про негативний вплив цієї технології на органолептичні та фізико-хімічні властивості м'яса. Наприклад, окислення ліпідів під час переробки м'яса зазвичай приводить до утворення неприємних присмаків і запахів, що на виникнення несприятливих сенсорних властивостей. Було доведено, що HIUS сприяє окисленню як ліпідів, так і білків. На додаток до фрагментації колагену, ультразвуковий зонд 20 кГц викликає утворення вільних радикалів, це явище сприяє окисленню білків у яловичині та втраті розчинності компонентів міофібрил. Проблема, яку необхідно вирішити, полягає в тому, що поглинена енергія HIUS може призвести до утворення тепла, що підвищується до підвищених температур, що згодом призводить до термічного пошкодження м'яса. Вплив HIUS на водоутримувальну здатність і втрату крапель м'яса можна оцінити позитивно або негативно, зміни залежать від типу та орієнтації волокна, біохімічних властивостей, а також потужності та часу ультразвукової обробки.

Використання потужного ультразвуку (PUS) поступово поширюється на деякі сектори харчової промисловості. Частоти в діапазоні від 16 до 100 кГц (інтенсивність потужності в діапазоні 10–1000 Вт $см^{-2}$) зазвичай

використовуються для обробки їжі, і при цих значеннях потужності деякі фізичні та хімічні властивості їжі можуть бути порушені. Зона кавітації , створена високим вмістом PUS у рідкому середовищі, може призвести до надзвичайно високих температур і тиску, що призводить до утворення вільних радикалів. Ці явища відповідають за зміни характеристик, мікроструктури та молекулярних реакцій їжі. Крім того, попередні дослідження підтвердили, що структура та функція білків може бути змінена шляхом застосування PUS. PUS високої інтенсивності можна використовувати для модифікації функціональності PSE (блідого, м'якого та ексудативного) подібного м'яса шляхом зміни вторинних структур білків, тим самим покращуючи мікроструктуру та реологічні властивості гелів.

Відомо, що в'ялення м'яса покращує термін зберігання, смак , соковитість і ніжність продуктів шляхом занурення м'яса в розсіл. Нещодавні дослідження з використанням PUS показали, що параметри потужності від 2 до 64 Вт/см^2 можуть сприяти процесу в'ялення, скорочуючи час дії розсолу, не впливаючи на якість м'яса. Таким чином, цілком імовірно, що PUS стане новою та перспективною технологією для переробки м'яса. Однак використання PUS може призвести до погіршення якості через деградацію поживних речовин, а також утворення неприємних присмаків, спричинених окисленням ліпідів або білків. Багато досліджень показали, що високоактивні вільні радикали утворюються з молекул води в результаті кавітації, ініційованої ультразвуком, і ці продукти розпаду можуть індукувати вільні радикальні ланцюгові реакції в харчових продуктах.

Кавітація – це явище швидкого утворення (нуклеації), росту та схлопування мікробульбашок в звукопровідних середовищах (зазвичай в рідині)

Таким чином, подібні реакції можуть бути ініційовані кавітацією під час обробки PUS, викликаючи гідроліз або окислення ліпідів. Активні форми кисню, які утворюються в результаті окислення ліпідів, можуть модифікувати або окислювати внутрішньоклітинні та мембранні білки в м'язах. Вільні радикали, які утворюються в результаті опромінення, сприяють окисленню білка

м'яса. Вплив PUS на окислення ліпідів і протеїнів яловичого м’яза при обробці розсолом оцінювали за допомогою вимірювання вмісту TBARS, карбонілу та сульфгідрилу. Для визначення структурних змін у білках використовували гідрофобність поверхні білка та інфрачервону спектроскопію з перетворенням Фур’є. Мета полягала в тому, щоб зрозуміти зв’язок між окисленням білка та структурними модифікаціями під час процедури розсолу за допомогою PUS.

П'ять *longissimus dorsi* (LM) яловичини було отримано з 5 туш через 48 годин після забою та упаковано під вакуумом. Рівень pH реєстрували випадковим чином у трьох місцях уздовж довжини м’яза за допомогою pH-метра через 48 годин після забою. Значення pH 5-и м'язів коливалося від 5,55 до 5,65. Усі видимі жирові та сполучні тканини видаляли, а зразки у формі пластини (50×50×10 мм), з напрямком міофібрил паралельно осі зонда, вирізали з худої тканини гострим ножем. Три місця вибірки були обрані випадковим чином у кожному LM з 5 тварин. Після підготовки зразків їх загортали в пластикову водонепроникну плівку і зберігали в замороженому стані при -20 °C до подальшої обробки. Перед експериментом зразки повільно розморожували при температурі 2 °C протягом 24 год.

Базові компоненти розсолу для затвердіння включали сахарозу, триполіфосфат натрію, пірофосфат натрію та гексаметафосфат натрію з кінцевими концентраціями 1,5%, 0,16%, 0,16% та 0,08% (мас/об.), відповідно. Концентрація хлориду натрію (NaCl) була встановлена на 6% (мас/об.). Перед кожною обробкою температуру розсолу підтримували на рівні 10 °C. Співвідношення маси м’яса до розсолу було встановлено 1:20 для всіх обробок.

Було вивчено вплив інтенсивності ультразвуку (2,39, 6,23, 11,32 і 20,96 Вт/см^2) і часу ультразвукової обробки (30, 60, 90 і 120 хв) на окислення білків і структурні зміни. Кожен рівень ультразвукової інтенсивності проводили протягом 30, 60, 90 і 120 хв при 6% концентрації NaCl. Для обробки ультразвуком кожен зразок занурювали в склянку на 500 мл, а весь ультразвуковий зонд вставляли в розсіл на відстані 20 мм від поверхні

яловичини. Охолоджувальний резервуар навколо склянки підтримував температуру 10 ± 0,5 °C. Для контролю використовували зразки, які не оброблені ультразвуком і мають такий самий час контакту з розсолом, як згадано вище. Після обробки зразки виймали з розсолу та промивали дистильованою водою протягом 20 с для видалення прилиплої поверхні солі. Потім зразки витерали насухо фільтрувальним папером і загортали в пластиковий водонепроникний пакет і заморожували (-20 °C) до тих пір, поки не знадобляться для аналізу. Кожен експеримент повторювався незалежно тричі.

6.2.2. Окислення ліпідів

Окислення ліпідів визначали шляхом вимірювання реактивних речовин 2-тіобарбітурової кислоти (TBARS) з невеликими змінами. Результати вказують на виражене збільшення швидкості та ступеня окислення ліпідів у зразках, які піддалися обробці PUS, порівняно зі зразками, які були розсолені статично. Значення TBARS також значно зростали зі збільшенням інтенсивності ГНН. Здається ймовірним, що індуковане ГНО окислення ліпідів було результатом кавітації в розсолі, яка потім генерувала вільні радикали OH шляхом сонолізу.

> **Сонохімія** – розділ хімії, який вивчає вплив ультразвуку (здебільшого в області 20 – 100 кГц, іноді до 1 МГц) на проходження хімічних і фізико-хімічних процесів Розрізняють: первинну сонохімію – процеси, що відбуваються всередені кавітаційних бульбашок; вторинну сонохімію – процеси, що відбуваються за межами кавітаційних бульбашок, частіше за все, в рідкий фазі; ультразвукову механохімію – процеси, що відбуваються завдяки фізичним ефектам ультразвуку.

Гній прискорює швидкість біохімічної реакції, про що свідчить збільшення вмісту TBARS. Швидкість виробництва радикалів OH зростала лінійно з інтенсивністю PUS, але генерація радикалів OH була стабільною при інтенсивності вище 3,5 Вт/см^2 через насичення кавітаційними бульбашками. Крім того, окислення та деградація ліпідів посилюється при вищих

температурах, можливо, вказуючи на те, що кавітація легше спричиняє високотемпературні «гарячі точки», які також можуть сприяти збільшенню значень TBARS.

6.2.3. Окиснення білків

Вміст карбонілів є важливим маркером, який може вказувати на ступінь окислення білка в харчовій системі. Попередні дослідження показали, що деякі амінокислотні залишки, включаючи цистеїн, тирозин і фенілаланін , сприйнятливі до окислення різними активними формами кисню. У поточному дослідженні початкова карбонільна група свіжого м'яса після забою через 48 годин становила 0,75±0,04 нмоль $мг^{-1}$ білка. На вміст карбонілів суттєво впливають як інтенсивність PUS (UI), так і час обробки (TT), тоді як значних змін не спостерігалося при застосуванні статичного розсолу. При одночасній обробці PUS вміст карбонілу мав тенденцію до збільшення зі збільшенням інтенсивності PUS. Крім того, не було виявлено суттєвих відмінностей між часом обробки, коли інтенсивність PUS була нижчою за 2,39Вт/$см^2$. Ці результати вказують на те, що PUS індукує окислення білка, але лише при високій інтенсивності та тривалості PUS. Попередні дослідження показали, що активні форми кисню відповідають за окислення білка. Таким чином, вільні радикали , що виробляються PUS, можуть сприяти підвищенню вмісту карбонілів білка, виявленого в поточному дослідженні. Крім того, продукти перекисного окислення ліпідів, такі як малоновий діальдегід і карбонільні сполуки , можуть реагувати з білками з утворенням карбонільних груп. Вторинні дикарбонільні продукти окислення ліпідів можуть зв'язуватися з міозином, утворюючи зв'язані з білком карбоніли.

Тіолові групи вільного білка яловичини зазнали значного впливу UI, TT та їх взаємодії (UI×TT). Порівняно зі свіжим м'ясом яловичини вміст вільних сульфгідрильних груп зростав із тривалістю витримки в 6% розчині NaCl , що свідчить про розчинення та структурні зміни білків при обробці сіллю. При

застосуванні PUS вільні білкові сульфгідрильні групи збільшувалися зі збільшенням інтенсивності PUS та збільшенням часу обробки. Однак після 120- хвилинної обробки ультразвуком інтенсивність обробок PUS не призвела до будь-яких значних змін. Слід зазначити, що різні розчини розсолу в різних дослідженнях можуть пояснити ці висновки. Середовище, яке використовувалося в цьому дослідженні, містило 6% NaCl, який підвищував експозицію сульфгідрильних залишків під час обробки, тоді як в інших дослідженнях використовували воду або PBS-буфер.

PBS-буфер – фізрозчин із фосфатним буфером є буферним розчином, який зазвичай використовується в біологічних дослідженнях. Це сольовий розчин на водній основі, що містить динатрій гідрофосфат, хлорид натрію і, в деяких рецептурах, хлорид калію та дигідрофосфат калію. Буфер допомагає підтримувати постійний pH.

Оскільки процес статичного розсолу в цьому дослідженні показав, що NaCl збільшує вміст вільного SH, тоді як кавітація, спричинена розгортання білків, що призводить до структурних змін. Ці фактори можуть пояснити збільшення вмісту вільного SH в яловичині, що може бути пов'язано зі структурними змінами білка, що виникають під час обробки PUS.

Після 120- хвилинної обробки ультразвуком загальна кількість сульфгідрильних груп статичного розсолу була значно вищою, ніж при інших інтенсивностях PUS. Результати свідчать про наявність окислення білка та зшивання сульфгідрильних груп, що спричиняє їх високу сприйнятливість до окислення в присутності гідроксидних радикалів, утворених PUS. Щоб оцінити, як інтенсивність PUS вплинула на білково-білкові взаємодії свіжої яловичини під час процедури консервування, зразки, оброблені статичним розсолом або PUS, були піддані аналізу SDS–PAGE.

SDS-PAGE – це система безперервного електрофорезу, розроблена Ульріхом К. Леммлі, яка зазвичай використовується як метод розділення білків з молекулярною масою від 5 до 250 кДа (кіло Дальтон).

Результати показали, що спостерігалося зменшення важкого ланцюга міозину і утворення полімерів з високою молекулярною масою за відсутності β-меркаптоетанолу при всіх інтенсивностях PUS при тривалості обробки понад 120 хв. Ці цифри показують утворення полімерів МНС, коли яловичина була піддана впливу PUS різної інтенсивності, тоді як суттєвих змін не відбулося при тривалій обробці.

МНС (Major Histocompatibility Complex) – Головний комплекс гістосумісності – (велика родина генів та відповідна область геному більшості хребетних)

Однак при обробці більша частина полімеризації МНС була відновлена. Це спостереження показало, що обробка PUS була відповідальною за агрегацію білка, а дисульфідний зв'язок був головним чином відповідальним за утворення полімеру МНС після тривалої обробки. Попередні дослідження показали, що одним із наслідків окислення є те, що воно може призвести до агрегації м’язових білків через нековалентні або ковалентні взаємодії. У цьому дослідженні лікування PUS призвело до перехресного зшивання МНС шляхом утворення дисульфідного зв’язку, і одночасно МНС був схильний до окисного стресу . Ці результати можна віднести до вільних радикалів , що утворюються в результаті кавітації через PUS.

6.2.4. Гідрофобність поверхні білка

Гідрофобність поверхні білка (S_0) є показником гідрофобних груп на поверхні білкових молекул і тісно пов’язана з функціональними властивостями білка. Значення S_0 значно збільшувалося з тривалістю ультразвукової обробки та інтенсивністю PUS, тоді як не було значного впливу на значення S_0 при застосуванні статичного розсолу. Обидва основні ефекти UI і TT, а також ефект взаємодії TT×UI були значущими для впливу на значення S_0. Ці висновки узгоджуються з попередніми дослідженнями, які показали, що обробка PUS викликало підвищення гідрофобності поверхні білка. Однак, незалежно від інтенсивності PUS при застосуванні протягом 120 хвилин, не спостерігалося суттєвих відмінностей у значеннях S_0, за винятком інтенсивності 20,96 Вт/см^2 .

Ці результати вказують на те, що після тривалої ультразвукової обробки майже всі гідрофобні групи, заховані всередині молекул, були піддані впливу поверхні білка, незалежно від інтенсивності PUS. Також здається, що більшість гідрофобних груп були піддані короткому часу обробки, коли використовувалася висока інтенсивність PUS.

Окислення білка та механічні ефекти кавітації під час обробки PUS можуть бути відповідальними за підвищення гідрофобності поверхні білка.

Дослідження показало, що яловичі м'язи, оброблені PUS під час процесу розсолу, призвели до окислення білка та структурних змін. Аналіз TBARS підтвердив появу продуктів окислення під час обробки PUS. Основним наслідком окислення білка було зменшення сумарних сульфгідрильних груп, що призвело до агрегації білка з ковалентним зшиванням. З іншого боку, збільшення гідрофобності поверхні білка та вільних сульфгідрильних залишків показало, що зміна білкових структур відбулася після обробки PUS. Таким чином, PUS індуковане окислення білка та механічні ефекти кавітації також впливають на зміни в білкових структурах.

М'ясні продукти зі спеціями є типовими традиційними м'ясними продуктами, які популярні серед споживачів у Китаї. Яловичина зі спеціями є типовим м'ясним продуктом зі спеціями, але виробництво та продаж цих м'ясних продуктів обмежені недоліками, включаючи тривалу обробку, низьку ефективність консервування, незадовільний профіль смаку та мікробне забруднення. Тому з'являються нові технології обробки на основі сучасних нетермічних технологій для покращення смакових якостей та ефективності виробництва пряної яловичини.

Розробка технологій нетермічної обробки, включаючи ультразвук, опромінення, обробку під високим тиском та імпульсне електричне поле, була викликана вимогами споживачів щодо отримання безпечних, поживних, ароматних і здорових м'ясних продуктів. Серед них ультразвук – це екологічно чиста та ефективна акустична хвиля з частотою вище 20 кГц, яку можна поєднувати з іншими технологіями без перешкод. Ультразвук може впливати на

якість м’ясних продуктів, головним чином через його ефект кавітації. Багато досліджень показали, що ультразвук можна використовувати для пастеризації, покращення м’якості та утримання води, а також належної зміни ступінь окислення білків і ліпідів, таким чином сприяючи покращенню якості їжі.

На сприйняття м'ясних продуктів споживачами сильно впливає їх смакові якості. Ключем до формування смаку у варених м’ясних продуктах є попередники смаку з сирого м’яса, включаючи пептиди, вільні амінокислоти, вільні жирні кислоти і відновлюючі цукри. Коли вони піддаються термічній обробці, між ними можуть відбуватися складні хімічні реакції, утворюючи велику кількість летких ароматичних сполук. Специфічний склад у м’ясних продуктах залежить від розкладання прекурсорів і умов реакції. Реакція Майяра (MR), деградація Штрекера та окислення ліпідів є важливими в механізмах формування смаку в м’ясних продуктах.

Реакція Маяра (Maillard reaction) або реакція меланоїдиноутворення – реакція взаємодії амінокислот з редукуючими цукрами під впливом високої температури з утворенням забарвлених (меланоїдинів) та ароматичних сполук. Має дуже важливе значення у приготуванні їжі.

Деградация Штрекера – это разрушение аминокислот с образованием альдегидов. Эти летучие вещества влияют на аромат кофе – прежде всего, с высоким содержанием белков.

Було заявлено, що MR може змінити структуру білка та вплинути на колір або запах чорних бобів, а смак вареного курячого м’яса формується через MR, розпад ліпідів та їх взаємодію.

6.3. Застосування імпульсних електричних полів для обробки м'яса

6.3.1. Застосування імпульсних електричних полів для покращення якості м’яса

Імпульсні електричні поля (PEF) – це нетеплова технологія, яка все ще шукає можливості для більшого впровадження в м’ясній промисловості. Їх аспект стійкості, який значно покращився завдяки зниженню споживання енергії

та скорочення часу обробки порівняно зі звичайними технологіями, може схилити чашу терезів для успішного переведення рівня готовності технології PEF до промислового застосування. У цьому розділі наведено огляд найновіших знань за останні три роки щодо використання PEF обробки м’яса для покращення його функціональності, поживності, текстури, кольору та сенсорної якості. Обробка PEF може покращити засвоюваність і розчинність білка м’яса, не маючи негативного впливу на його харчову цінність. Проте повідомляють про суперечливі дані щодо впливу PEF на втрати м’яса при термічній обробці. Зміни кольору м’яса після обробки PEF прямо пропорційні загальним питомим енерговитратам, що використовуються під час обробки, тоді як вплив PEF на сенсорні властивості м’яса ще належить виявити. Оскільки здатність PEF досягати бажаних цілей залежить від багатьох різних факторів, включаючи тип м’яса, напруженість електричного поля, кількість і тривалість електричних імпульсів та інші, потрібні додаткові дослідження, щоб повністю зрозуміти конкретні умови, які можуть бути надійно застосовується в м'ясній промисловості.

Електрика та їжа вперше зустрілися в промисловому середовищі майже століття тому, коли омічний нагрів був застосований до молока, щоб покращити його безпеку та термін зберігання. Перші ідеї про те, що електричні поля змінного струму можуть руйнувати біологічні клітини в процесі, який спочатку називався «електроплазмоліз», були опубліковані дослідником зі східного боку «залізної завіси» і на той час були практично нечуваними в світі. решта світу. Імпульсні електричні поля, як ми сьогодні називаємо цю технологію, стосується довгострокових зусиль як вчених, так і промисловості щодо вдосконалення та постійного розвитку вже існуючої технології.

Два електроди, прикріплені до джерела електричних полів високої напруги (5–50 кВ/см), і харчова матриця, розташована між ними в камері обробки, піддаються дії (1–1000) коротких імпульсів (мкс-мс) при певній частоті (Гц) є найпростішим поясненням налаштування PEF. Залежно від відстані між

електродами, розмірів камери, напруженості електричного поля та часу обробки можуть виділятися різні кількості питомої енергії (кДж/кг).

Електропорація та електропроникність – це найчастіше використовувані фрази для опису явищів, спричинених PEF у біологічних клітинах. Перший спрямований на утворення водянистих пор у ліпідному подвійному шарі цитоплазматичної мембрани, а інший – на підвищення її проникності. Ці види руйнування клітин є основними механізмами для двох основних застосувань PEF у м'ясних матрицях: нетеплова мікробна інактивація та посилення масообміну. Здатність PEF ефективно досягати вищезазначених цілей залежить від різних факторів, включаючи конструкцію джерела живлення (пікова напруга, піковий струм, середня потужність, форма хвилі імпульсу, ширина імпульсу та частота повторення імпульсу), тип комутаційних пристроїв (транзистори, напівпровідники) та конструкція камери обробки (конфігурація електродів, площа, зазор і схема потоку).

Однак PEF і тверда їжа є набагато більш «складною» комбінацією, головним чином тому, що інактивація мікробів у них відносно нереальна. Принаймні, обробка зразка PEF низької інтенсивності здається неефективним для більшості видів мікроорганізмів. З іншого боку, електропорація є чудовою попередньою обробкою твердих харчових продуктів (включаючи м'ясо) перед сушінням, приготуванням і навіть заморожуванням за рахунок передачі енергії.

Сушіння харчових продуктів за допомогою тепла в промислових умовах приносить досить великі економічні та екологічні недоліки, оскільки вимагає величезних витрат енергії. З цієї причини низка інноваційних технологій, таких як мікрохвилі, опромінення та ультразвук, були застосовані для скорочення часу та температури сушіння м'яса, але без істотного впливу на зниження споживання енергії. Ефективною заміною цим інноваційним методам може бути використання PEF для менш енерговитратного сушіння зразків м'яса. Оскільки PEF – це нетеплова технологія, вона не потребує додаткового охолодження зразків м'яса, що також призводить до зниження споживання води та енергії. Таким чином, технологія PEF може отримати значні переваги з точки зору

енергетичних та екологічних аспектів порівняно зі звичайними процесами. Можливе пояснення цієї парадоксальної ситуації можна знайти в складності самої м'ясної матриці. Кількість і розподіл жиру та сполучної тканини в м'ясі може значно відрізнятися залежно від типу та віку тварини, корму, нарізки м'яса тощо. Таким чином, ці змінні, поряд із орієнтацією м'ясних волокон, можуть мати явний і значний вплив на ефективність Обробка PEF, а також потреба в енергії, ускладнює розробку та успішне проведення досліджень стійкості м'яса під дією PEF.

Зміни pH м'яса та після застосування PEF пов'язані зі змінами провідності м'яса та в результаті електропорації, зокрема з використанням високої електричної енергії та високої частоти. Незалежно від напруженості електричного поля (0,60–1,20 кВ/см) чи кількості застосованих імпульсів (150–600), pH зразки курячого м'яса, обробленого PEF, залишалися порівнянними із показниками контрольних зразків (не оброблених PEF). Подібне спостерігалося для м'яса курячої грудки в дослідженні, де напруженість електричного поля 7 кВ/см була недостатньою, щоб викликати зміни pH.

Яловичина, оброблена PEF (0,52 кВ/см; 20 мкс; 600 імпульсів), мала середній pH 5,8, який суттєво не відрізнявся від pH яловичини, не обробленої PEF. Крім того, не було загальних відмінностей у pH яловичини *m. semimembranosus* з або без обробки PEF (0,25–0,5 кВ/см, 20–100 Гц і 1000–5000 імпульсів) ні після одного дня, ні через 14 днів холодного зберігання. М'ясо ягняти після обробки PEF (88–109 кДж/кг, 90 Гц, 1–1,4 кВ/см, 964 імпульси, 20 мкс) не показало значних змін у значеннях pH порівняно з контрольними зразками. Поперечна частина благородного оленя мала середній pH приблизно 5,7 до та після низької (1,93 кДж/кг, 2,5 кВ, 50 Гц, 20 мкс) та високої (70,2 кДж/кг, 10 кВ, 50 Гц, 20 мкс) обробки PEF.

6.3.2. Втрата крапель, варіння та розморожування

Загальноприйнято вважати, що високоінтенсивна обробка PEF спричиняє збільшення краплинних втрат зразків м'яса через незворотне пошкодження клітинних мембран електричними полями або фрагментацією міофібрил і денатурацією білка. Однак напруженість поля (1,0, 1,5 і 2,0 кВ/см) яловичини не вплинула як на втрату крапель, так і на втрату при варінні (варіння в режимі Sous-Vide при 60 °C протягом 1, 3, 6, 12 і 24 годин) яловичини. PEF, але лише за часом приготування Sous-Vide. Втрати крапель зменшилися, а втрати при варінні значно зросли з довшим часом приготування. Однак після 12 годин приготування в режимі Sous-Vide не спостерігалося суттєвої різниці у втратах при варінні між контрольними зразками та зразками, попередньо обробленими PEF. В іншому дослідженні м'ясо яловичини піддавали PEF (0,5–2,0 кВ/см, 50 мкс, 125 імпульсів) і занурювали його в розсіл із концентрацією 8% (мас./об.) NaCl і 0,3% (мас./об.) $Na_5P_3O_{10}$, щоб скоротити час маринування (досягнуто 33%) і покращити дифузію NaCl (69,0%) і води (51,8%). Не спостерігалося значного впливу PEF на втрати при варінні (водяна баня при 76 °C до температури всередині 70 °C) зразків. Було припущено, що водоутримувальна здатність м'яса яловичини була збільшена за рахунок додавання NaCl і що складну взаємодію між PEF і NaCl та їхній вплив на втрати м'яса при термічній обробці ще належить краще дослідити та зрозуміти в майбутньому.

У дослідженнях, після обробки PEF (0,25–0,5 кВ/см, 20–100 Гц і 1000–5000 імпульсів) і зберігання в охолодженому стані протягом 14 днів, втрати яловичини через краплі були дещо вищими (0,6%) порівняно з необробленим PEF зразкпми, але ці відмінності не були статистично значущими. Подібне спостерігалося і для втрат зразків при варінні. Знову ж таки, значних відмінностей у втраті ваги яловичини *m. transversus thoracis* не спостерігалося між зразками, обробленими високою (84–111 кДж/кг), середньою (57–71 кДж/кг) або низькою (28–35 кДж/кг) інтенсивністю PEF. Однак втрати при варінні (Sous-Vide 60 °C протягом 12, 24 або 36 годин) були значно нижчими у зразках із

високоінтенсивною попередньою обробкою PEF порівняно з необробленими зразками. Однак інші дослідження показали, що як низька (30–35 кДж/кг), так і висока (90–100 кДж/кг) обробки PEF значно зменшили втрати при варінні (Sous-Vide 60 °C протягом 24 годин) у коротких ребрах яловичини, але лише для зразків із середнім діапазоном електропровідності (6–9 мСм/см). Надане пояснення полягало в тому, що PEF мало впливав на внутрішньоклітинну воду м'яса, яка становить майже 97% від загального вмісту води в м'ясі, і що він змушує м'ясо утворювати мікроструктуру, схожу на губку, яка має покращену здатність утримувати воду та обмежувати обидві краплі та втрати при варінні. Не відома причина, чому для зразків із нижчою електропровідністю (3–6 мОм/см) або вищими її значеннями (9–12 мСм/см) вплив PEF-обробки на втрати при варінні не спостерігався.

У дослідженні існували певні невизначеності щодо впливу PEF на втрати при кулінарній обробці охолоджених і заморожених-розморожених шматків баранини. Зокрема, автори пояснили, що «PEF міг спричинити зміну в міофібрилярній структурі, що призвело до зниження водоутримуючої здатності м'язів», але дійшли висновку, що «оброблені PEF розрізи гомілки та гомілки мали значно менші втрати при варінні порівняно з необробленими PEF. зразки». Крім того, охолоджені та заморожено-розморожені баранячі гомілки, оброблені PEF, у їхньому дослідженні мали менші втрати при варінні порівняно з контрольними зразками, тоді як для охолоджених відрізків корейки та лопатки, а також заморожено-розморожених ребер було помічено зовсім протилежне. Пояснення щодо впливу типу розрізу на втрати при кулінарній обробці та у взаємодії з обробкою PEF полягало в тому, що відмінні типи м'язів мають індивідуальні фізичні-хімічні властивості та вміст м'язового волокна, що може впливати на здатність кожного м'яза утримувати воду.

Що стосується домашньої птиці, то, всупереч загальноприйнятій думці, повідомлено про зменшення втрат крапель на 13% до навіть 28,5% у зразках курячого м'яса після застосування PEF і протягом чотирьох днів холодного зберігання. Також помічено, що збільшення кількості імпульсів було набагато

більш сприятливим у цьому відношенні порівняно зі сплеском напруженості електричного поля. Автори припустили, що це явище можна пояснити захопленням молекул води в гідрофільних порах мембранного ліпідного подвійного шару, створеного PEF, який може повторно закриватися через мілісекунди після закінчення обробки, або ефектом «повторної компартменталізації вологи».

Компартменталізація – просторове роз'єднання за допомогою біомембран ферментів та субстратів у клітині або внаслідок метаболічних процесів,.

Іншим поясненням можуть бути конформаційні зміни білків, спричинені PEF, які призводять до посилення взаємодії з молекулами води та подальшого зменшення втрат крапель.

Конформація – різні просторові форми молекули, що виникають при зміні відносної орієнтації її частин у результаті внутрішнього обертання окремих ділянок молекули без розриву хімічних зв'язків.

Окремо чи разом, ці два механізми можуть найкраще пояснити, чому менш інтенсивна обробка PEF може бути відповідальною за підвищену водоутримувальну здатність м’яса. В іншому дослідженні, синергетичний ефект PEF (напруженість електричного поля 1 кВ/см) і занурення м’яса курячої грудки в розчин $CaCl_2$ (0,4 моль/л) призвів до значного покращення водоутримуючої здатності (16,61%) і зменшення втрат при варінні (28,93%) проб. Причина, чому такий ефект був досягнутий, була надана спектроскопією ядерного магнітного резонансу та аналізом магнітно-резонансної томографії. Ці зображення показали більшу кількість іммобілізованої води в розширених просторах між міофібрилами через їх набряк. PEF також індукує «конформаційні зміни міофібрилярних білків і прискорює деградацію білків з низькою молекулярною масою». Однак, коли PEF більш високої інтенсивності (2 кВ/см) застосовувався до м’яса курячої грудки, його водоутримувальна здатність зменшилася на 2,17% порівняно з обробкою 1 кВ/см. Крім того, PEF сприяв (1–3 кВ/см, 2000 мкс, 50 Гц) розморожування м’яса пекінської качиної грудки було швидшим (50%) і зі

зниженими втратами при розморожуванні (28%) і втратами білка (19%) порівняно з розмороженими зразками в холодильнику. Тим не менш, при 4 кВ/см втрати від розморожування були значно вищими порівняно з контрольними зразками, оскільки напруженість електричного поля стала достатньо сильною, щоб викликати денатурацію білка, що призвело до збільшення втрати води та розчинного білка разом із погіршенням харчової цінності м'яса.

Розморожування та варіння (водяна баня при 80 °C (внутрішня температура 75 °C) втрати благородного оленя m. *longissimus et lumborum* були вищими для вологих (21 день при 4 °C, упаковані під вакуумом), ніж для сухих (21 день при 4 °C, відносна вологість 80%, швидкість повітря 1,5 м/с) старих зразків. Однак ні високі (70,2 кДж/кг, 10 кВ, 50 Гц, 20 мкс), ні низькі (1,93 кДж/кг, 2,5 кВ, 50 Гц, 20 мкс) імпульсні поля не мали впливу на обидва типи втрат. Нарешті, емульсійні композитні гелі, виготовлені з міофібрилярних білків, екстрагованих зі свіжої свинячої корейки (*m. longissimus lumborum*), показали значне збільшення водоутримуючої здатності (37,9%) після впливу PEF (2,5–5,0 кВ/см, 500 Гц, 6 мкс). Однак, коли PEF перевищувала інтенсивність 7,5 кВ/см, було помічено погіршення водоутримуючої здатності гелю, що пояснювалося можливою агрегацією білка. Витрати енергії PEF (0,76 × 103–5,32 × 103 кДж/кг) не були здатні модифікувати первинну структуру міофібрилярних білків, але були достатніми для здійснення конформаційних змін.

6.3.3. Функціональність і поживність

PEF може спровокувати часткове розгортання білків м'яса, що призводить до кращого шлунково-кишкового травлення через їхню підвищену вразливість до гідролізу, який здійснюють ферменти, і навіть більше, якщо вони вже денатуровані, оскільки структурні зміни білка сильно впливають на активність протеази.

Спостерігалося середнє шлунково-кишкове перетравлення протеїну м'яса оленини після обробки PEF (10 кВ, 20 Гц, 20 мкс) 93,0%, яке було значно вищим

порівняно з контрольними зразками (91,8%). У цьому ж дослідженні також спостерігалося збільшення розчинності білка як у шлунковому, так і в кишковому травленні *in vitro*. Подібним чином яловича грудинка (*m. pectoralis*) продемонструвала покращену (29%) засвоюваність протеїну в ротовій порожнині, шлунково-кишковому тракті та тонкому кишечнику після комбінованого впливу PEF (99 ± 5 кДж/кг, 0,7 кВ/см, 20 мкс, 50 Гц) і приготування Sous-Vide (60 °C протягом 24 годин). Також спостерігався підвищений протеоліз важких ланцюгів міозину та С-білка. Мікро- та ультраструктура зразків, оброблених PEF + вареного Sous-Vide, і контрольного (тільки вареного Sous-Vide) істотно не відрізнялася до травлення *in vitro*, а лише після його закінчення. Було помічено підвищену інфільтрацію травних соків у зразках, оброблених PEF, як наслідок електропорації в м'язових клітинах, оскільки спостерігалося більше набряклих саркомерів. Висновок полягав у тому, що PEF призвело до покращеної засвоюваності білка м'яса *in vitro* , яка була лише посилена ефектом приготування Sous-Vide. Подібним чином м'яка обробка PEF (<2,5 кВ/см) зберегла функціональні властивості курячих м'язів, оскільки не спостерігалося негативного впливу на розчинність білка або процеси денатурації, незалежно ні від напруженості електричного поля, ні від кількості застосованих імпульсів. Процедура визначення ентальпії загальної денатурації білка показала, що ці імпульсні поля низької енергії не змогли індукувати ці процеси в курячому м'ясі, уникаючи негативного впливу на його функціональні властивості.

Шлунково-кишкове перетравлення вареної оленини призвело до вивільнення однакових кількостей різних мінералів (Fe, K, P, Ca, Na, Mg, Cr і Ni) у рідкому переварюваному продукті, незалежно від відсутності або присутності попередньої обробки PEF не було відмічено істотного впливу обробки PEF (0,52 кВ/см, 10 кВ, 20 Гц, 20 мкс) на мінерали яловичини.

6.3.4. Текстура

Електропорація саркомерів під час обробки PEF може посилити активність ферменту кальпаїну-2, оскільки руйнування саркоплазматичного ретикулуму прогресує до раннього вивільнення іонів кальцію, що призводить до протеолізу м’язових білків і, отже, покращує текстура м'яса.

Електропорація – це вплив електричних імпульсів для збільшення проникності шкірного бар'єра.
Саркомер основна одиниця міофібрил поперечно-посмугованих м'язів. Саркомери є білковими комплексами.
Саркоплазматичний ретикулум, утворюється в м'язових клітинах, де іони кальцію активно закачуються з цитоплазми в порожнині ендоплазматичного ретикулуму проти градієнта концентрації в не збудженому стані клітини й звільняються в цитоплазму для ініціації скорочення.

Оброблені PEF (0,52 кВ/см, 10 кВ, 20 Гц, 20 мкс зразки м’яса яловичини з 1,2% NaCl мали значно нижчі значення (до 22%) для сили зсуву (Н), в’язкості (Н/мм с) і твердість (Н/мм) у порівнянні з PEF необробленими зразками з 2% NaCl. Подібним чином було підтверджено, що можна досягти 5–10% зменшення сили зсуву в яловичині *m. semimembranosus* після 14 днів холодного зберігання та після застосування відносно низької напруженості електричного поля (0,5 кВ/см) PEF (50 мс або 5000 імпульсів). Раніше було встановлено, що підвищена електропровідність м'яса є показником ступеня розпаду тканин і зміни проникності мембран. Чим вищою була напруженість електричного поля (1,0, 1,5 та 2,0 кВ/см) обробки PEF, застосованої до яловичини *m. напівсухожильного* м’яза, тим більшою була його електропровідність, що свідчить про більший ступінь руйнування тканини. Це призвело до значного зменшення сили різання (35%), твердості та жувальної здатності м’яса та пропорційно силі електричного поля. Підвищена ніжність яловичини *m. напівсухожилкових* зразків, викликаних PEF, зберігалася навіть після наступного

приготування Sous-Vide (60 °C протягом 1, 3, 6, 12 і 24 годин), оскільки цей щадний кулінарний метод загалом не провокує скорочення м'язів.

Індекс міофібрилярної фрагментації та відсоток солюбілізації колагену яловичих коротких ребер був пропорційний збільшенню інтенсивності обробки PEF (28–111 кДж/кг), що призвело до збільшення тендеризації оброблених зразків.

> **Колаген** – головний білок сполучної тканини тварин та білок, що має найбільший вміст у ссавців, до 25 % від повної маси білків організму. Колаген – глікопротеїн, фібрилярний білок, що становить основу сполучної тканини організму (сухожилля, кістка, хрящ, дерма і т. ін.) і забезпечує її міцність і еластичність. Колаген відсутній у рослин, бактерій, вірусів, найпростіших та грибів.
> **Солюбілізація** – перехід нерозчинних або малорозчинних сполук у розчинений стан під дією поверхнево-активних речовин.

Взаємодія між попередньою обробкою PEF і приготуванням у суцільному режимі (60 °C протягом 12 годин) щодо покращення когезійності, пружності, клейкості, жування та пружності також була значною.

Попередню обробку PEF можна використовувати для розм'якшення жорсткої яловичини *m. transversus thoracis* (короткі ребра) під час приготування Sous-Vide (60 °C протягом 24 годин), коли застосовували високоенергетичний PEF (90–100 кДж/кг, 10 кВ, 20 мкс, 50 Гц, 5200 імпульсів). Це значно знизило твердість TPA коротких ребер з електропровідністю 6–9 мСм/см, що є ефектом, який спостерігався у зразках із нижчою (3–6 мСм/см) або вищою (9–12 мСм/см).) електропровідність, але лише після додаткових 12 годин приготування в режимі Sous-Vide. Пружинність і щільність не вплинули ні на обробку PEF, ні на тривалість приготування Sous-Vide. Подібним чином, яловичина (m. *longissimus lumborum*), маринована (30–180 хв у розсолі з 8% (мас./об.) NaCl і 0,3% (мас./об.) $Na_5P_3O_{10}$) і оброблена PEF (0,78–12,50 кДж/ кг, 50 мкс, 125 імпульсів) зразки продемонстрували нижчі показники сили зсуву, твердості та жувальної здатності порівняно з необробленими зразками, але без істотної різниці у пружності. При

обробці 2,0 кВ/см і 12,50 кДж/кг було досягнуто зниження на 22,90% значень сили зсуву. Загалом маринування за допомогою PEF покращило м'якість і текстуру яловичини.

Вологий витриманий (21 день при 4 °C, упакований під вакуумом) благородний олень *m. longissimus et lumborum* зразки також мали значно нижчі сили зсуву (9%), коли вони пройшли попередню обробку PEF (70,2 кДж/кг, 10 кВ, 50 Гц, 20 мкс) перед старінням порівняно зі зразками без PEF. Трансмісійна електронна мікроскопія виявила причину покращення тендеризації, показавши порушення в структурі міофібрилярного білка, викликані високоінтенсивним PEF. В іншому випадку значення твердості та сили зсуву свіжих грудок самок пекінської качки були цілком порівнянними з тими, що були виміряні для зразків такого ж типу (замороженого) м'яса, але після обробки PEF (1–4 кВ/см, 2000 мкс, 50 Гц) було застосовують для їх розморожування.

6.3.5. Колір

Варіації кольору м'яса після обробки PEF з більш високими загальними питомими енерговитратами, багатого міоглобіном, зазвичай пояснюються його змінами, спричиненими підвищенням температури зразка під час дії. Високоінтенсивний PEF (84–111 кДж/кг) яловичини *m. transversus thoracis* викликав значні зміни в його світлості (L*), почервонінні (a*), куті відтінку (H) і кольоровості (C), тоді як жовтизна (b*) залишилася незмінною. Після 24 годин термообробки зразків ефект PEF на колір був значно зменшений, і не було виявлено значних відмінностей у почервонінні, куті відтінку та кольоровості між короткими ребрами, обробленими PEF високої інтенсивності, та контрольними зразками. Дуже низька киснепроникність використовуваних вакуумних мішків призвела до нижчого окислення та денатурації міоглобіну, утворюючи приготоване м'ясо рожевого кольору, як це сприймали їхні сенсорні оцінювачі. Проте суперечливими були висновки про те, що нижча напруженість електричного поля (0,6–1,2 кВ/см) і кількість імпульсів від 150 до 300 були пов'язані зі збільшенням легкості м'яса, тоді як додаткове збільшення кількості

імпульсів (450–600) призвело до зменшення як світлості, так і жовтизни зразків. Припущено, що таке явище можна пояснити перерозподілом води, викликаним обробкою PEF, з низькою загальною питомою енергією, що призводить до зміни рефракційних властивостей м'язової тканини курки. Подібне спостерігалося для м'яса курячої грудки в дослідженні, де напруженість електричного поля 7 кВ/см була недостатньою, щоб спричинити зміни у значеннях світлоти, жовтизни або кольоровості зразків.

І знову яловичина, оброблена PEF, яка зазнала підвищення температури лише на 4 °C, не показала жодних змін у світлі, почервонінні, жовтизні, кольоровості та куті відтінку порівняно з яловичиною, не обробленою PEF. Те саме спостерігалося у яловичини *m. semimembranosus* навіть після двох тижнів холодного зберігання та коли до зразків м'яса застосовували обробку PEF (0,25–0,5 кВ/см, 20–100 Гц і 1000–5000 імпульсів). Натомість обробки PEF різної інтенсивності (1,0, 1,5, 2,0 кВ/см) для яловичини, маринованої (30–180 хв у розсолі з 8% (мас./об.) NaCl і 0,3% (мас./об.) $Na_5P_3O_{10}$) м'ясо збільшило світлину, зменшило почервоніння, кольоровість і кут відтінку, тоді як значення жовтизни залишилися незмінними. Обробка нижчої інтенсивності (0,5 кВ/см) не мала суттєвого впливу на будь-який з параметрів кольору порівняно зі зразками, не обробленими PEF. Однак загальні значення різниці кольорів у всіх зразках, попередньо оброблених PEF, і різні інтенсивності були вище одиниці, що є граничним значенням видимої різниці, що вказує на те, що попередня обробка PEF призведе до відчутної сенсорної різниці кольору яловичини. В експериментах, необроблена яловичина PEF *m. напівсухожилкові* м'язи мали вищий загальний вміст міоглобіну та значення почервоніння порівняно зі зразками, обробленими PEF (2,0 кВ/см, 20 мкс, 200 імпульсів). Однак після подальшого приготування Sous-Vide при 60 °C і протягом більше 12 годин не спостерігалося значних відмінностей у кольорі між контрольними зразками та зразками, попередньо обробленими PEF.

Крім яловичини, менші показники світлості, почервоніння та жовтизни також спостерігалися в оброблених PEF (питома енергія 88–109 кДж/кг, частота

90 Гц, напруженість електричного поля 1–1,4 кВ/см, кількість імпульсів 964, ширина імпульсу 20 мкс) охолоджена та заморожено-розморожена м'ясна нарізка ягняти. Автори повідомили, що було помічено підвищення температури приблизно на 10 °C, і припустили, що це не було причиною (вище окислення міоглобіну до метміоглобіну) сприйнятих змін кольору, оскільки вони з’являлися лише в охолоджених і заморожених-розморожених зразках. Натомість вони припустили, що зменшення легкості може бути наслідком підвищеної чутливості м’яса до окислення ліпідів. Як повідомили, світлість свіжих грудок L* (світлість), a* (червоність), b* (жовтість), C (кольоровість) і H (кут відтінку) була такою ж, як у PEF розморожених (1–3 кВ/см, 2000 мкс, 50 Гц) зразків, і лише після застосування найвищого рівня потужності електричного поля (4 кВ/см) вона значно зменшилася. Подібне спостерігалося для жовтизни, але різниця полягала в тому, що вона збільшувалася при застосуванні максимальної потужності. Нарешті, навіть найменшої потужності було достатньо, щоб викликати значне збільшення почервоніння у зразках качиного м’яса, оброблених PEF.

6.3.6. Сенсорна якість

Вивільнення заліза з накопиченням, яке є активним каталізатором окислення ліпідів, з таких джерел, як гемоглобін, міоглобін і феритин, каталізує окислення ліпідів. Однак не спостерігалося впливу обробки PEF на окислення ліпідів яловичини під час зберігання. Також не спостерігалося впливу обробки PEF або зменшення солі на окислення білка продуктів. Проте в охолоджених шматках баранини та після застосування ПЕФ (питома енергія 88–109 кДж/кг, частота 90 Гц, напруженість електричного поля 1–1,4 кВ/см, кількість імпульсів 964, ширина імпульсу 20 мкс) рівень окислення ліпідів значно посилюється. Більше того, PEF оброблялися заморожені баранячі рульки та ребра, і після семи днів холодного зберігання продемонстровано вищий вміст малонового діальдегіду, що перевищує межі порогів для прогірклості або розвитку

неприємного присмаку в м’ясі. Обидва шматки м’яса ягняти з високою та низькою цінністю після обробки PEF (88–109 кДж/кг, 90 Гц, 1–1,4 кВ/см, 964 імпульси, 20 мкс) показали значні зміни у складі летких сполук, що призвело до змін в сенсорних профілях порівняно з контрольними зразками. Обробка PEF призвела до домінуючих відчуттів м’ясного та окисленого смаку в цілому. Останні спостерігалися в оброблених PEF заморожених та розморожених ребрах і після семи днів зберігання в холоді, тоді як часові домінуючі відчуття м’ясного та соковитого смаку були відзначені в охолоджених зразках, оброблених PEF, і були пов’язані з наявністю певних жирних кислот. Нарешті, охолоджені та заморожені м’ясні шматки баранини мали підрум’янені та сенсорні характеристики після застосування PEF. Навпаки, загальна сенсорна прийнятність (спостереження 65 експертів) у роботі, між верхньою частиною яловичини преміум якості, обробленої PEF, і необробленої, суттєвих відмінностей не було.

6.3.7. Стійкість

Одним із пускових механізмів впровадження PEF у м’ясному секторі є розуміння плюсів і мінусів цієї технології, а також обмежень у переході від досліджень до промисловості. Очевидно, що її аспект стійкості може схилити чашу терезів для успішного перенесення рівня технологічної готовності (TRL) у промисловому застосуванні. Вплив стійкості можна оцінити за допомогою суміші різних інструментів, таких як моделювання масо-енергетичного балансу лабораторного обладнання, розрахунки повернення інвестицій залежно від TRL, дослідження «від воріт до воріт» оцінки життєвого циклу (LCA) або оцінка стійкості життєвого циклу, що поєднує LCA, калькуляцію витрат життєвого циклу та соціальну LCA. Паралельно дослідження харчової безпеки сприяють стійкості PEF. Незважаючи на застосування PEF у харчовій промисловості, його екологічний вимір все ще незначний, в основному охоплюючи переробку харчових продуктів рослинного походження, таких як соки або овочі.

Обробка PEF покращує її аспект стійкості за рахунок зниження споживання енергії та скорочення часу обробки. Як наслідок, ця техніка енергозбереження зменшує непряме споживання енергії та скорочує викиди парникових газів. Боротьба зі зміною клімату в ланцюгах постачання продуктів харчування вважається пріоритетом надзвичайної важливості. Показано, що поєднання PEF і традиційного сушіння подовжує термін зберігання зразка м'яса з підтвердженим низьким енергоспоживанням. Інший потенціал виявили, що пропонує приготування їжі за допомогою PEF, оскільки воно має якісні та стійкі переваги.

Окрім використання в м'ясопереробці, PEF також можна використовувати для зменшення впливу виробництва м'яса на навколишнє середовище. Основним впливом є споживання природних ресурсів, утилізація відходів, скидання стічних вод і викиди парникових газів. Екстракція біологічно активних сполук (з різних видів відходів і побічних продуктів) може бути досягнута за допомогою різних технологій екстракції. PEF споживає менше енергії порівняно з іншими тепловими та нетепловими технологіями. Це може бути перевагою в м'ясному секторі, враховуючи, що майже 25% виробленого м'яса в Європейському Союзі витрачається на різних етапах ланцюга постачання м'яса. Паралельно, знаючи негативний вплив м'ясних відходів і труднощі перетворення відходів на корисні продукти, підтверддено, що PEF з'єднання з механічним пресуванням є перспективною зеленою технологією для функціонального вилучення різноманітних біоактивних сполук і корисних хімікатів. Також повідомлено, що PEF може сприяти значній економії енергії (933,18 ± 22 Дж $г^{-1}$), коли мова йде про технологію сушіння м'яса. Відомо, що час маринування м'яса за допомогою PEF можна скоротити на 33% завдяки покращенню дифузії NaCl (69,0%) і води (51,8%). Розморожування качиних грудок із підтримкою PEF може бути на 50% швидшим порівняно з традиційними методами.

Важливо проаналізувати тріумвірат трьох основних елементів під час аналізу сталого потенціалу PEF у м'ясному секторі: TRL технології PEF, її екологічні показники та переваги для всіх зацікавлених сторін. Технологія є

високою за шкалою TRL в інших харчових секторах, оскільки вона вже була реалізована для виробництва фруктових соків і картоплі. Однак TRL PEF у м'ясному секторі знаходиться на рівні 6–7 завдяки розробці різних прототипів, перевірених у лабораторних масштабах, але все ще не повністю використаних у галузі. Екологічні показники на функціональну одиницю (FU) 1 кг обробленого м'яса повинні охоплювати два основні показники: потенціал глобального потепління та енергоспоживання. На жаль, такого роду дослідження щодо PEF та м'ясних технологій майже не існує.

Нарешті, переваги для всіх зацікавлених сторін мають бути також фінансовими (як одним із стовпів сталого розвитку), розширюючи перспективи виробництва безпечних продуктів. Схоже, що PEF практично не впливає на pH, незалежно від типу м'яса чи енергоємності обробки. Повідомляється про суперечливі дані щодо його впливу на втрати при термічній обробці м'яса, які пов'язані з типом м'яса та умовами обробки, але все ще без чітких пояснень природи та ступеня цієї залежності. PEF покращує функціональні властивості м'яса, особливо засвоюваність і розчинність білка, не маючи негативного впливу на його харчову цінність. Зміни кольору м'яса після PEF-обробки прямо пропорційні загальним питомим енерговитратам, що використовуються під час обробки, тоді як вплив PEF на сенсорні властивості м'яса ще залишається недослідженим. Нарешті, важливих досліджень та їх результатів щодо всіх трьох основ сталого розвитку PEF у м'ясній промисловості надзвичайно бракує, і необхідні подальші дослідження, якщо маємо за потребу мати якісь кількісні висновки з цього питання.

Імпульсне електричне польове обладнання Pulsemaster (Нідерланди) (рис. 20). Pulsemaster надає системи імпульсного електричного поля (PEF) для харчової промисловості, виробництва напоїв і науки. Наші промислові готові рішення та повністю інтегровані системи під торговою маркою Conditioner підходять для PEF-обробки твердих, напівтвердих і рідких речовин.

Рис. 20. Компактна система PEF від Pulsemaster обробляє до 10 т/год. Призначений для малої та середньої виробничої лінії [17]

Обробка PEF застосовує імпульси високої напруги (20–80 кВ/см) тривалістю від мілісекунд до мікросекунд для обробки рідких продуктів, розміщених між двома електродами (Zhang et al. 2010; Toepfl, Heinz, and Knorr 2006). Для твердих харчових продуктів використовується 1–8 кВ/см через великий зазор у камері обробки та обмеження потужності генератора імпульсів. Електричне поле може застосовуватися як експоненціально затухаючий, прямокутний, біполярний або коливальний імпульс при температурі навколишнього середовища, нижче температури навколишнього середовища або трохи вище температури навколишнього середовища. Імпульси подаються з високою частотою повторення (до 3000 імпульсів на секунду), щоб можна було обробити весь об’єм зразка їжі.

Обробка PEF застосовує серію коротких імпульсів високої напруги. Ці імпульси розривають клітинні мембрани вегетативних мікроорганізмів, створюючи пори або розширюючи існуючі пори (електропорація). Розриви викликають витік внутрішньоклітинного вмісту, що призводить до супутньої втрати клітинної метаболічної активності, такої як ріст і поділ, що спричиняє інактивацію мікроорганізмів (Buckow, Ng, and Toepfl 2013).

Інактивація мікробних популяцій PEF залежить від різних параметрів процесу PEF обладнання та геометрії камери обробки:

- напруженість електричного поля;
- час обробки;
- частота імпульсів;
- ширина імпульсу
- температура обробки.

На мікробну ефективність обробки PEF також впливають різні параметри продукту:

- кислотність;
- наявність антимікробних та іонних сполук;
- провідність;
- середня іонна сила.

Обробка PEF має обмежений вплив на спори бактерій і цвілі, ферменти та віруси.

Виробник**: Pulsemaster Хамперт Нідерланди**.

Питання для самоконтролю

1. Чи здатна інноваційна технологія «Ударна хвиля» забезпечити конкурентні переваги в обробці м’яса і за рахунок чого?
2. Як працює ультразвук високої інтенсивності в разі обробки м’яса?
3. Як поведуть себе ліпіди у разі обробки м’яса ультразвуком високої інтенсивності?
4. Як пов'язаний ультразвук високої інтенсивності з таким явищем як кавітація?
5. Що собою представляють імпульсні електричні поля і як їх застосовують для обробки м’яса?
6. Чи здатне застосування ультразвуку високої інтенсивності привести до окиснення білків?
7. Як імпульсні електричні поля застосовуються для сушіння, варіння та розморожування м’ясної сировини?
8. Яку функцію несе в процесі обробки мяса таке явище як електропорація?
9. Як імпульсні електричні поля впливають на екологію в наслідок обробки споживного м’яса?

Рекомендована навчальна література

1. Янчева М., Пешук Л., Дроменко О. Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса і м'ясних продуктів. К.: Центр навчальної літератури, 2017. 304 с.
2. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
3. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.
4. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.
5. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
6. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств : підручник / І. Г. Бабанов та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2015. 599 с.
7. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
8. Toldrá, F. (ed.). Handbook of meat processing. John Wiley & Sons, 2010. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/mbpcgh
9. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
10. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
11. Технологія м'яса та м'ясних продуктів : дайджест. Вип. 1. [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олаводі. 3-е вид., перероб. та доп. Київ, 2021.18 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://library.nuft.edu.ua/inform/myaso2015.pdf
12. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олаводі] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

Розділ 7. РОБОТОТЕХНІКА ТА СЕНСОРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПЕРЕРОБЦІ ЧЕРВОНОГО М'ЯСА

7.1. П’ять причин для інновацій у роботизації м'ясної промисловості

Перша причина: нестача робочої сили плюс умови праці. Умови праці в м'ясній промисловості для багатьох людей небажані, оскільки робота з тваринами може бути надто напруженою як фізично, так і морально.

Друга причина: Важливий сектор економіки. М'ясопереробка є одним із найважливіших секторів економіки харчової промисловості. Загальний оборот бійні та м'ясопереробної промисловості, наприклад, Німеччини у 2023 році становив близько 44 мільярдів євро, при цьому по всій країні діють понад 1400 м'ясопереробних компаній.

Третя причина: споживачі вимагають вищої якості продукції. За останні кілька років споживання високоякісних продуктів харчування стало важливішим для багатьох споживачів. Навіть у м'ясному секторі люди приділяють більше уваги покращенню якості продукції. Для задоволення цих вимог необхідні автоматизовані етапи обробки, що забезпечують досягнення високої якості. Стандартизовані процедури, включаючи постійний гігієнічний контроль, можуть допомогти підвищити якість кінцевої продукції.

Четверта причина: складне середовище розробки. Область промислової переробки м'яса, яка значною мірою залежить від операцій людини, пропонує великий потенціал розробки нових підходів до автоматизації та роботизації. Однак необхідно подолати безліч особливих факторів. Наприклад, кожна забійна тварина індивідуальна та унікальна, що потребує адаптованої процедури, тому неможливо використовувати строго стандартизовану процедуру. Особливість тварин також визначає п'ятий пункт.

П'ята причина: багато можливостей для інновацій. Майбутні рішення мають враховувати індивідуальність тварин як досить інноваційну. Тема штучного інтелекту останніми роками стає дедалі важливішою і може стати

цікавим чинником у м'ясопереробному секторі. Крім того, область робототехніки також набула важливого значення завдяки новим технологіям, які дозволяють роботам імітувати захоплення людини, відкриваючи безліч нових сфер застосування. Сьогодні має місце безліч чудових можливостей для впровадження нових інновацій у м'ясну промисловість.

7.2. Роботизовані технології у переробці червоного м’яса

У галузі переробки червоного м’яса важкі робочі умови, де завдання, які виконуються на бійнях, є фізично та розумово важкими. Крім того, через високі фінансові витрати, пов’язані з використанням кваліфікованої робочої сили, дефіцитом таких працівників і зростанням споживання м’яса в усьому світі, зростає поштовх до інтеграції автоматизації як потенційного рішення для галузі.

У цьому розділі описуються складності впровадження роботизованих технологій у переробку червоного м’яса. Складність при обробці природних м'ясних середовищ значною мірою чутлива до варіацій заготовок, викликаних механічними властивостями, фізичною формою та положенням тканин. Ці відмінності заважають звичайним роботизованим системам досягти успіху.

Експериментальні та комерційні роботизовані системи переробки червоного м’яса виконують завдання різання в цеху для обвалки, можливості систем яких обмежені виконанням розрізів, які потребують незначної адаптації під час процесу. Досвід показує, що рентгенівські, оптичні та ультразвукові зонди є найефективнішими сенсорними технологіями для визначення траєкторій різання перед виконанням завдання. Деякі експериментальні системи використовували тактильний датчик для проходження складніших шляхів різання, але ще не створено комерційно життєздатного продукту. Оцінка застосовності цих сенсорних технологій для керування робототехнічною системою в режимі реального часу має вирішальне значення для вирішення складніших розрізів.

Робототехніка означає використання складних мехатронних систем, також відомих як роботи, які оснащені електронікою, датчиками, приводами та програмним забезпеченням для виконання конкретних завдань із різним ступенем автономності.

Причини, чому переробка червоного м'яса є ідеальною для включення автоматизації в цех обвалювання:

- Температура робочого середовища, близька до нуля, призводить до серйозних проблем зі здоров'ям у довгостроковій перспективі.
- Повторюваність завдань, які виконуються в цеху обвалки, викликає розумову та фізичну втому.
- Оператори в цеху для обвалювання працюють у безпосередній близькості до гострих інструментів, що може призвести до травм, прогулів, позовів про компенсацію та зниження стабільності виробництва.
- Присутність людей-операторів у відділенні обвалки може спричинити потрапляння сторонніх тіл і мікроорганізмів у м'ясо, що потребує значного бюджету для підтримки високого рівня гігієни.

Крім того, вартість навчання для різних скорочень є високою. Типове приміщення для обвалювання має ланцюгову швидкість, коли кожен обвалювач має обмежений час для виконання поставленого завдання з розрізання. Це робить переробку червоного м'яса непривабливою для найму нової робочої сили та невблаганним середовищем навчання для нових працівників.

В останні роки Австралія була однією з провідних країн світу з експорту червоного м'яса, включаючи яловичину, овечину та козу. У 2019 році Австралія була другою за величиною експортером м'яса яловичини та телятини та найбільшим експортером овечого м'яса у світі. Промисловість червоного м'яса відіграє вирішальну роль, наприклад, в економіці Австралії, забезпечуючи роботою приблизно 434 000 людей із різних регіонів і віддалених районів, безпосередньо в галузі або через пов'язані підприємства. Враховуючи важливість галузі, ця країна мотивована використовувати нові інноваційні можливості і технології. Індустрія червоного м'яса стикається зі значною

проблемою щодо витрат на переробку через робочу силу, при цьому та ж Австралія відчуває суттєву різницю у витратах, пов'язаних із працівниками, порівняно з іншими провідними країнами-експортерами червоного м'яса. Статистика показує, що рівень витрат на оплату праці в Австралії в 1,6 рази більший, ніж у США, у 2,8 рази, ніж у Бразилії, і в 2,4 рази, ніж в Аргентині. Існує також тиск щодо ефективного збільшення виробництва червоного м'яса для задоволення ринкового попиту, оскільки щорічне споживання білка зростає. Робототехніка є ключовою технологією, яка може сприяти необхідному збільшенню виробництва та зменшити витрати на робочу силу для підтримки конкурентоспроможності.

Перетворення живих тварин на товарну продукцію передбачає численні операції на бійні. Хоча послідовність цих операцій може дещо відрізнятися залежно від виду та країни. Але має місце загальний план типової послідовності бійні: приголомшення, кровотеча, знебарвлення шкіри або волосся, потрошення та розрізання туші. Усі етапи переробки червоного м'яса мають вирішальне значення для якості кінцевого продукту і можуть значно виграти від автоматизації. Однак важливим технологічним заходом є саме розрізання туші, де найскладніші та найцінніші частини виробляються в складних умовах холодних обвалювальних камер. Рішення полягає в технології керування роботом, який імітує можливості людського сприйняття шляхом розрізнення подій і станів для інформування функцій керування машиною в режимі реального часу. Більшість розглянутих комерційних рішень використовували нереактивні методи сприйняття для керування лезом під час різання, використовуючи передопераційне сканування, яке диктує шлях різання для маніпулятора. Однак цей підхід обмежувався таким завданнями різання, де адаптація під час різання була практично не потрібна.

Першими параметрами, які необхідно знати для маніпуляційної роботизованої системи, є розміри її входу. Це особливо складно, коли мова йде про продукти з червоного м'яса, які неоднорідні та різняться за розміром. Розміри вхідних даних неможливо передбачити через такі фактори, як хімічний

склад корму, який згодовують тваринам, і різницю між видами, статтю, віком і географічним походженням. Навіть у межах порізів одного типу та розміру внутрішні характеристики, такі як розподіл тканини та вимірювання, можуть значно відрізнятися.

Розташування та траєкторія шляху різання та тип ріжучих середовищ сприяють ускладненню завдання. Ці фактори впливають на стан продукту при введенні в систему, тип необхідного ріжучого інструменту та необхідну техніку маніпулювання. Наприклад, неекспоновані шляхи різання, вкриті тканинами, складніші для проходження, ніж відкриті, і вимагають спеціального поводження та унікальних ріжучих інструментів, здатних досягати зони різання. Траєкторія шляху може бути такою ж простою, як пряма лінія розрізу або слідувати складному профілю кістки навколо суглобів. Типи середовищ відділення ускладнюють розріз. Важче відрізнити схожі тканини візуально або через тактильні відчуття, тому виконати розріз між подібними тканинами складніше, ніж між абсолютно різними.

Нелінійні механічні властивості та композиційна структура тканин червоного м’яса спричиняють неоднорідну поведінку продуктів на бійнях. Червоне м’ясо в основному складається з в’язко-еластичних тканин, що деформуються: м’язів і жиру. Жорсткість цих тканин змінюється як в одному зразку, так і між ними. Жирова тканина складається з жирових клітин, з’єднаних сполучною тканиною. Комбінації жирних кислот, які утворюють жирові клітини, визначають жорсткість жиру. Існує декілька різних основних типів жирних кислот у великої рогатої худоби та овець з різною довжиною вуглецевого ланцюга і, отже, різними механічними властивостями. Подібно до розміру туші, навколишнє середовище, порода худоби та раціон є факторами, які впливають на склад жирних кислот і розподіл жиру в туші. Існує чотири типи жиру в туші:

- Внутрішньом’язовий жир, розташований у м’язовому м’язі.
- Міжм'язова жирова клітковина, розташована між м'язами.

- Підшкірна жирова клітковина або жирова клітковина спини, розташована між м’язами та шкірою. Вони розподіляються у вигляді грудок жирових прошарків у верхній частині м’язів із сполучною тканиною між цими шарами.
- Вісцеральний жир, розташований навколо внутрішніх органів.

Скелетні м'язи складають більшість м'яких тканин тварини. Вони являють собою їстівне м'ясо і прибуткову частину туші. М’язи мають складний склад із комбінацією таких компонентів:

- Сполучна тканина, яка покриває кожен м’яз, називається Endomysiuma і складається з колагену.
- Пучок м’язових волокон групується, щоб утворити більшу м’язову масу, і вкритий іншим типом сполучної тканини, який називається Perimysium. Ці пучки також називають «зернами» м’яса, які мають напрямок – виготовлені з колагену.
- Епімізіум або сріблясta шкіра – це зовнішній шар сполучної тканини, який огортає весь м'яз. На відміну від попередньої сполучної тканини, вона складається з більш важкого типу білка, який називається еластин.
- Відсоток внутрішньом’язового жиру існує між м’язовими пучками (мармуровість).

У деяких випадках всередині продукту повинні залишитися кістки. Це робить кістку більш жорсткою та важчою, важливою ознакою під час різання. Суглоби між кістковими тканинами з’єднані зв’язками, які є іншою формою сполучної тканини на основі еластину. Крім того, кістки з’єднані з м’язовими м’язами через сполучну тканину, відомі як сухожилля. Наявність двох або більше різних середовищ у продукті може призвести до неоднорідних реологічних властивостей під час транспортування та обробки. В’язкопружні властивості цих тканин можуть спричинити такі явища, як релаксація тканини з часом через варіації векторів сили тяжіння та сил інерції, зміни в структурі, коли масові частини видаляються, і тимчасову деформацію, спричинену силами ріжучого інструменту під час розбирання. Експеримент, проведений для визначення реологічних параметрів круглих м’язів яловичини, показав, що м’ясо

демонструвало різні деформаційні властивості, коли навантаження застосовувалося в трьох напрямках відносно напрямку м'ясних волокон.

Маніпулювання каркасом передбачає утримання його в певних положеннях біля леза або зміну його орієнтації відносно ріжучого інструменту. Те, як заготовка представлена ріжучому інструменту, має вирішальне значення для ефективного дотримання цільового інтерфейсу. Традиційні методи обробки твердих матеріалів не підходять для обробки червоного м'яса через вищезазначені фактори. У результаті були розроблені інноваційні методи маніпулювання, натхненні ручною обробкою, які можуть відрізнятися для кожного розрізу. Дві поширені експериментальні методи маніпуляції:

- У першому методі робот утримує ріжучий інструмент, у той час як заготовка фіксується у відомій позиції та орієнтації.
- У другій техніці робот маніпулює та утримує заготовку на фіксованому лезі для різання.

Правильне закріплення об'єкта, що сильно деформується, різної структури, як-от туші червоного м'яса, та фіксація його на лезі в обох методах має вирішальне значення для досягнення бажаних результатів. Будь-який рух під час процесу може спричинити відхилення від траєкторії різання, що призведе до втрати якості або незадовільного пошкодження продукції. Вплив природних матеріалів, які мають слизькі поверхні, неправильні форми та розміри, а також не- або напівжорсткі властивості на автоматизацію є:

- Вища ймовірність втрати зчеплення або втрати зчеплення через ковзання.
- Пошкодження внаслідок тиску.

Найпоширенішими технологіями захоплення в промисловості червоного м'яса є гачки та затискачі з регульованою утримуючою силою, які приводяться в дію від електричних двигунів або пневматично. Єдиним життєздатним варіантом є вакуумний захват, який використовує всмоктування повітря або вакуум, щоб утримувати предмети з одного боку, не завдаючи шкоди, будучи простим, дешевим і легким у чищенні. Однак вакуумні захвати мають відносно

вищі, але обмежені утримувальні сили, що викликає серйозне занепокоєння, коли справа доходить до обробки важких корисних навантажень первинних шматків червоного м’яса.

Ріжучі інструменти залежать від типу необхідного розрізу та типів залучених тканин. Статичні ножі різної форми та пневматичні різаки підходять для м’яких тканин під час обрізки та нарізки, тоді як статичні та електричні пилки використовуються для розрізання кісток. Усі сучасні різальні інструменти виконують різання через прямий контакт із заготовкою. Контактне різання вимагає постійної стерилізації, щоб запобігти поширенню забруднення, і періодичного заточування лез для забезпечення чистих зрізів. Щоб запобігти таким проблемам, досліджуються та випробовуються інші технології, які забезпечують безконтактне різання, зокрема струмені води, ультразвукове різання, лазерні промені та плазма. Ріжучий інструмент впливає на важливі параметри та процедури різання, такі як положення заготовки, техніка маніпулювання та швидкість різання.

Розгортання робототехніки на бійнях з будь-яким рівнем автоматизації вимагає різноманітних міркувань охорони здоров’я та безпеки, які необхідно враховувати. Однак, оскільки інтеграція технології в сектор червоного м’яса є новою концепцією, наявні стандарти можуть бути надто обмежувальними та забороняти промисловості досліджувати та впроваджувати ці технології. Однією з першочергових проблем є забезпечення гігієнічного аспекту обробки м’яса, оскільки сторонні тіла, такі як бактерії, грибки та фрагменти металу чи пластику, можуть забруднити продукти, а вологе середовище на бійнях може сприяти утворенню іржі на кінцевому ефекторі.

Ефектор – мала молекула, яка збільшує чи зменшує активність протеїну внаслідок того, що зв'язується з регуляторним центром, який не є каталітичним. У деяких випадках як ефекторні молекули можуть виступати і досить великі молекули білків, особливо у внутрішньоклітинних сигнальних каскадах

Рекомендується, щоб обладнання було спеціально розроблене для відповідності критеріям, встановленим спеціалізованими стандартами, такими як Міжнародна організація стандартизації (ISO) 14159 щодо проектування машин. Це включає використання харчових матеріалів для виготовлення закритих машин, які легко чистити та дезінфікувати без ризику іржавіти чи спричиняти будь-які хімічні реакції. Також необхідно впроваджувати періодичні протоколи очищення, щоб очищати маніпулятори відразу між кожним розрізом, щоб запобігти перехресному забрудненню, і в кінці кожної робочої зміни. Прикладом комплексного стандарту, який можна застосовувати, є ISO 22000, який забезпечує основу для управління безпекою харчових продуктів.

Ще один важливий фактор при впровадженні роботів у сектор виробництва червоного м'яса – це безпека, оскільки робота з роботами на будь-якому рівні автоматизації може бути потенційно небезпечною. Було проведено огляд стандартів і правил, які можна використовувати як рекомендації, і виявили, що ISO10218:2011 є найбільш релевантним для технології.

Релевантність – міра відповідності отримуваного результату бажаному. В термінах пошуку це міра відповідності результатів пошуку завданню, поставленому в пошуковому запиті.

Цей стандарт містить вказівки та вимоги щодо безпечного проектування машин, включаючи роботів, представляючи захисні заходи, передбачувані небезпеки та пропозиції щодо усунення або зменшення ризиків, пов'язаних з ними. Крім того, слід перевірити наслідки відмови в системі керування, щоб забезпечити безпеку. Нарешті, небезпеки, пов'язані з конкретними роботами, необхідно оцінити та зменшити, щоб запобігти нещасним випадкам і забезпечити безпечність харчових продуктів. Необхідно вжити ефективних заходів для вирішення цих проблем безпеки та забезпечення безпечної та ефективної роботи робототехніки в промисловості червоного м'яса.

Рівень технологічної готовності (TRL Technology Readiness Level) – це показник, який вимірює рівень зрілості технології або системи. Шкала TRL варіюється від 1 до 9, де 1 означає найнижчий рівень зрілості, а 9 – найвищий.

Коли системі присвоюється TRL 9, це означає, що це повністю розроблена, перевірена технологія, яка готова до комерційного впровадження. TRL, призначений кожній системі в м'ясній промисловості, базується на кількох факторах, включаючи рівень технологічного прогресу, ступінь тестування та перевірки системи та готовність до комерційного впровадження. Наприклад, AGOL-800 та інші комерційно доступні системи мають TRL 9, оскільки вони були ретельно протестовані та підтверджені в комерційних застосуваннях. З іншого боку, експериментальні системи мають TRL від 5 до 7, залежно від рівня інформації, доступної на етапі системи. RoBUTCHER має найвищий TRL серед експериментальних систем, який, імовірно, становить близько 7. Система була перевірена в лабораторних і пілотних умовах і показала багатообіцяючі результати. Однак необхідні подальші тестування та перевірка, перш ніж його можна буде широко розгорнути в комерційних програмах. На відміну від цього, TRL системи задньої четвертини ягняти оцінюється в 6. Система пройшла тестування на інженерних моделях або прототипах у відповідному середовищі. Інші системи, такі як роботизована клітина SRDViand і роботизована клітина ARMS, мають TRL 5. Ці системи були протестовані в лабораторних і пілотних умовах, і було досягнуто багатообіцяючих результатів, але необхідні подальші тестування та перевірка, перш ніж вони зможуть бути широко поширеними. розгорнуті в комерційних програмах. Нарешті, тример для відбивних з баранини має TRL 4. Система пройшла проектування, розробку та лабораторні випробування технологічних компонентів. Результати вказують на те, що застосовні цільові показники продуктивності компонентів/процесів можуть бути досягнуті на основі проектованих або змодельованих систем.

Переробка свинини, яка схожа на промисловість червоного м'яса, досягла найбільшого успіху у впровадженні автоматизації в галузі. В експериментальній сфері RoBUTCHER – це фінансований Європою проект із розробки автономних роботизованих клітин, які називаються клітинами м'ясної фабрики (MFC). MFC – це концепція заміни традиційних лінійних виробничих систем на клітинні. Традиційний процес на бійнях зазвичай включає послідовні кроки, починаючи з

забою, після чого слід видалення шерсті, потрошіння, розділення туші на половинки та, нарешті, розбирання кожної половини на первинну та вторинну частини після охолодження. Однак концепція MFC пропонує перегрупувати деякі завдання таким чином, щоб автономні клітини отримували туші безпосередньо після знебарвлення для гарячого видалення кісток первинних тварин з подальшим видаленням внутрішніх органів. Система складається з двох роботизованих рук, одна призначена для маніпуляцій і захоплення, а інша для різання. Тим часом блок обробки туші підтримує та утримує тушу під час процесу. Система здатна адаптуватися до відмінностей між різними тушами, використовуючи комбінацію детальних даних комп'ютерної томографії (КТ), 3D-зображень у реальному часі та даних розрізання, наданих експертом, для навчання нейронної мережі при плануванні траєкторії розрізання. Візуальні дані, які надає камера RGB-D, мають на меті ідентифікувати частини туші та ключові атрибути, вводячи цю інформацію в алгоритм машинного навчання для визначення найкращого місця захоплення та шляхів різання. У той же час досліджувалися методи визначення фізичних змін у м'ясі в тих областях, де візуальні датчики неефективні, наприклад вимірювання електричного опору, вимірювання сили, оптичні методи, спектроскопічні вимірювання та електромагнітні хвилі зондування. Дослідники прийшли до висновку, що лише дві з цих технологій, оптична та електромагнітна спектроскопія (ЕМ), придатні для подальшого розвитку автоматизації виробництва м'яса. Було проведено додаткові дослідження, які включали використання ЕМ-спектроскопії для керування розумним ножом. Результати показали багатообіцяючу продуктивність із лише незначними помилками, які спостерігалися при виявленні контакту та глибини. Концепція MFC заглибилася в кілька аспектів автономної робототехніки та представила багато інноваційних технологій і методів, які можна застосувати в технології червоного м'яса.

У комерційному плані Frontmatec, одна з найбільших компаній з автоматизації переробки м'яса, розробила низку успішних автоматизованих рішень для нарізання свинини, видалення жиру та обрізки. АГОЛ-800 – це

система первинної розрубки з поділом половини свинячої туші на три частини: ніжку, середню частину і передню частину. Система використовує рентгенівську технологію, зокрема детектор лобкової кістки, для вимірювання туші. Крім того, здається, що система використовує камери огляду для виявлення орієнтації та положення туші. Для подальшої обробки на розбирання AMBL 1100 є універсальною системою, яка поділяє середню частину свинини на черевну частину та корейку, а потім обвалює корейку. У цій системі використовуються камери 3D-огляду. Frontmatec пропонує інші автоматизовані системи для більш складних розрізів середнього відділу. Прикладом є Automatic Rib Puller ARP15, який розгортає роботизовану руку зі спеціальним ріжучим інструментом. Роботизована рука запрограмована на переміщення вздовж контурів ребер, використовуючи зображення камери та алгоритми машинного навчання для створення цифрової моделі свинячої туші та точного визначення розташування ребер. Після локалізації апарат робить точні надрізи, щоб видалити ребра з навколишньої тканини. Роботизований тример для живота – це ще одна система, призначена для високоточного обрізання свинячого живота, особливо на ділянці соска та спині. Система включає в себе систему зору та дані з понад 300 000 вимірювань для створення 3D-моделі, яка використовується для визначення форми живота. Потім система використовує двох 6-осьових роботів, кожен з яких оснащений водоструминними різцями, для виконання процесу обрізки. Для обрізання жиру ALTD-450 – це автоматичний тример, у якому кожен шматок сканується за допомогою ультразвукового датчика та вимірювань зображення, щоб створити 3D-профіль продукту та визначити розташування межі між м’язами та жиром. Потім шматок лежить рівно на стороні жиру та фіксується на конвеєрі за допомогою притискного колеса для проходження через блок обрізки. Система використовує леза, подібні до піаніно, які можна регулювати окремо відповідно до необхідної кількості жиру, який потрібно зрізати з кожного сегмента корейки. Кінцевим продуктом системи є корейка, покрита рівномірно розподіленим шаром жиру. Існують інші подібні системи для обрізки та

видалення свинячого жиру, такі як ALTL-1100 (Frontmatic) і модель Auto trimmer AT21-620, розроблені компанією Marel.

HAMDAS-RX і WANDAS-RX є комерційно доступними системами, представленими для обвалки свинячої лопатки та гомілки. Системи покладаються на рентгенівське бачення, щоб визначити шлях розрізання сполучної тканини перед видаленням м'язів з кістки. Ці системи мають додаткову функцію, яка допомагає ножу слідувати поверхні кістки. Механічна конструкція з двома пружинами, закріпленими з боків ріжучого ножа, інтегрована, щоб забезпечити більшу свободу рухів ріжучого ножа збоку, щоб уникнути зачеплення за вузькі ділянки кістки.

У той час як свиняча туша структурно подібна до яловичини та баранини, свинячі тканини містять більшу частку ненасичених жирних кислот, які мають більш рідкі властивості, ніж насичені жирні кислоти, присутні в тканинах червоного м'яса. Як наслідок, системи обрізання, які покладаються на сканування та штовхання шматків на регульовані леза, непридатні для червоного м'яса через його більшу здатність до деформації, що вимагає постійної адаптації траєкторії різання під час процесу обрізання. Подібним чином методи обвалки придатні лише для свинини через її м'які властивості тканини, що полегшує відділення м'язів від кісток після того, як між ними прорізається шлях. На додаток до цього та за спостереженнями, свинина демонструє відносно однорідну анатомічну структуру, що полегшує проектування ефективних машин і систем для завдань з переробки м'яса. Ці унікальні характеристики та властивості дозволили розробити різні рішення, спеціально розроблені для автоматизації переробки свинини.

Технології, які дозволяють вимірювати внутрішню структуру матеріалів, були в центрі уваги досліджень у галузі автоматизації виробництва червоного м'яса як ідеального засобу для систем контролю. Однією з перспективних технологій керування автоматичною роботизованою системою є рентгенівська абсорбціометрія з подвійною енергією (DEXA). У поєднанні з камерами 3D-сканування SCOTT Automation розробила та вивела на комерціалізацію

автоматичне приміщення для обвалювання ягняти. Кімната розділена на рентгенівську систему різання, основну систему різання, систему різання передньої чверті, систему різання середньої частини та систему різання задньої частини. Пристрій DEXA сканує кожну тушу ягняти, щоб визначити характеристики скелета. Система використовує дані для ідентифікації траєкторій, які забезпечують точний розріз і розтин для кожної туші, а потім надсилає ці траєкторії за потоком до наступних систем. Потім тушку переміщують до первинної системи розрізання, щоб розділити її на три основні частини: передню, середню та задню четвертину. У системі передньої чверті передня частина захоплюється роботизованою рукою та сканується за допомогою 3D-камери для створення моделі, яка ідентифікує ріжучі поверхні. Роботизована рука використовує фіксовану пилкову стрічку, щоб нахилити кістку, видалити грудну кістку, гомілку та шию, а також розділити плече на поверхні, розраховані на 3D-зображенні. При середньому ладі видаляють спинний і баранячий лоскути, а корейку відокремлюють від стійок. У системі задньої чверті дві ноги відокремлюються від стегнової кістки за допомогою датчика сили. Основна, передня і середня системи виконують прямолінійні розрізи, які не вимагають особливої адаптації до різання та маніпуляцій, якщо траєкторію різання та кут визначено правильно, ділянки розрубу є прямими лініями, що прилягають до певних структурних особливостей туші. Хоча система продемонструвала незначні покращення в порівнянні з ручним обрізанням, деякі несподівані випадки, такі як плями крові, ненормальне забарвлення шматків і унікальна анатомія, спричинили систематичні помилки в ідентифікації інтерфейсу та обчисленні шляху різання.

Подібно до ягняти, автоматизація була досягнута в дуже небагатьох завданнях на бійні для обробки яловичини. Scott Automation розробила автоматичну роботизовану систему для скрайбінгу ребер.

Скрайбінг – це метод розповіді чи пояснення, що супроводжується паралельним створення схематичних малюнків, які відтворюють ключовий зміст сказаного. Завдяки залученню цього прийому можна,

розповідаючи про будь-що, підкріплювати сказане графічно у максимально зрозумілому і привабливому для слухача форматі.

Вона використовує циркулярну пилку, прикріплену до кінця маніпулятора, для виконання двох прямих розрізів поперек ребра. Інформацію про шлях різання надає комбінація рентгена (DEXA) і кольорової камери відносно структури кісток.

Була запропонована стратегія, що використовує зір і силу одночасно для виконання розрізу, який вимагає менше маніпуляцій; розріз Z для четвертування яловичої туші. Процес передбачав відділення задньої і передньої чверті. Він використовував грудну клітку як орієнтир для спрямування ріжучого інструменту. Передопераційні візуальні дані за допомогою світлового зображення використовували для отримання профілю хребта, чотирьох опорних точок і просторового положення або орієнтації ріжучого інструменту щодо них. Система виявила топографію туші за допомогою структурованого джерела світла та камери. Камера зафіксувала світло та витягла з нього риси туші. Тактильне сприйняття, представлене у зворотному зв'язку за силою, використовувалося в режимі реального часу для оновлення траєкторії ріжучого інструменту, щоб слідувати грудній клітці за допомогою системи для підрахунку кількості ребер, що вирізаються, одночасно визначаючи положення ножа відповідно.

7.3. Технології рентгенівського, ультразвукового та оптичного зондування

У випадку *рентгенівських технологій* різна щільність тканин використовується для отримання зображень шляхом виявлення різних ступенів ослаблення рентгенівського випромінювання. Потім генерується траєкторія розрізу на основі різних особливостей туші, що призводить до двовимірного зображення. Ця технологія включає DEXA та КТ. Впровадження технології DEXA передбачає значні витрати, включаючи вартість установки, вимоги до місця та необхідність періодичного калібрування для перевірки вимірювань за

допомогою КТ-сканера, який також є дорогим у реалізації та використанні. Крім того, ця техніка виявилася неадекватною, коли мова йде про більш складні форми різання, такі як обрізка жиру, оскільки вона не може знайти підповерхневі елементи в трьох вимірах.

Ультразвукове зондування – це ще один метод візуалізації, який дозволяє охопити внутрішню структуру об'єкта. Цей метод заснований на тому принципі, що тканини різної щільності мають різні акустичні властивості, що дозволяє ідентифікувати різні шари тканин або об'єктів. Ультразвукові прилади мають два режими роботи: А-режим і В-режим. А-режим – це графік, який показує інформацію про тканини як функцію глибини, тоді як В-режим забезпечує ультразвукові зображення в реальному часі, представляючи амплітуду відбитого сигналу у вигляді пікселів. Однак успіх цієї технології в наданні вказівок у режимі реального часу для роботизованих систем у промисловості червоного м'яса заперечується кількома факторами. Спеціалізовані конструкції ультразвукових пристроїв необхідні для адаптації неоднорідної форми туш для кожного конкретного розрізу. Розташування та орієнтація датчика відносно туші може значно вплинути на вимірювання. Середовище бійні представляє різні небезпеки, які можуть порушити точність вимірювань. Крім того, температура та вміст води в навколишньому середовищі також можуть впливати на точність вимірювань, тоді як наявність повітряних кишень усередині туші може призвести до неточностей вимірювань.

Оптичні зонди використовуються для вимірювання фізичних і хімічних властивостей різноманітних матеріалів шляхом аналізу їх реакції на світло, включаючи поглинання, відображення та зворотне розсіювання. Найпоширенішим типом оптичного зонда в м'ясній промисловості є NIR-спектроскопія, яка є простою, економічно ефективною та надійною для передопераційного сканування. Її ефективність була продемонстрована в комерційних системах обрізки свинячої корейки, де вона точно вимірює глибину жиру. Для отримання вимірювань оптичні діоди вставляються в жир за допомогою голчастого зонда або пристрою. Для сканування продуктів зі

свинини достатньо одного вставлення в центр продукту та усереднення даних, оскільки варіація жиру менша порівняно з аналогами з червоного м’яса. Однак використання оптичних зондів у додатках у режимі реального часу вимагатиме численних зчитувань, що вимагатиме багаторазового вставлення зондів у каркас та поперек, що може потенційно пошкодити продукт. Крім того, його використання для керування ріжучим інструментом у режимі реального часу може завадити швидкості та надійності, але додавання штучного інтелекту (ШІ) може допомогти у прийнятті рішень та аналізі даних для підвищення його ефективності.

7.4. Тактильне відчуття та допоміжні технології

Дослідження показали, що людське почуття дотику перевершує зір у обробці властивостей матеріалів, прогину та деталей. Тактильне сприйняття сили надає інформацію про силу через фізичну взаємодію з навколишнім середовищем. Метою технології є виявлення механічних властивостей або реакції робочого середовища за допомогою зворотного зв’язку сили та крутного моменту. Дані, отримані від контакту з різними об’єктами, можуть бути інформативними, якщо уважно спостерігати за перехідними процесами сили та правильно інтерпретувати їх.

Розрізання червоного м’яса значною мірою залежить від фізичної взаємодії з м’ясною заготовкою через різальне лезо. Нещодавні дослідження та промислові звіти свідчать про те, що існує недостатнє розуміння, коли справа доходить до реалізації тактильного визначення в реальному часі для точного слідування траєкторії різання. Цей недолік очевидний у нездатності використовувати технологію для керування ріжучими інструментами під час виконання складних розрізів у деяких роботизованих системах. Це пов’язано з численними факторами, які необхідно брати до уваги, покладаючись на тактильну технологію, наприклад напрямок м’язового зерна, вміст води в тканинах, вплив температури на жорсткість м’яса та нерівномірність м’ясного середовища.

Багато явних переваг тактильного сприйняття потребують додаткових досліджень. Було продемонстровано, що розуміння та інтерпретація параметрів, пов'язаних із фізичним контактом із навколишнім середовищем, є ключем до складних сенсорних технік, здатних адаптивно взаємодіяти з навколишнім середовищем. Щоб пристосуватися до неочікуваної поведінки тканин, сумісних із червоним м'ясом, необхідна техніка вимірювання в реальному часі з метої реєстрації інструментів для різання відповідно до їхніх унікальних внутрішніх особливостей.

Незважаючи на те, що автоматизація вважається рятівником галузі, вкрай важливо зберегти набір навичок працівників, особливо в умовах поточної нестачі кваліфікованої робочої сили. Хоча деякі завдання не можуть бути автоматизовані найближчим часом через їхню складність, поступове зменшення людського фактора вважається найкращим підходом до досягнення повної автоматизації. У короткостроковій перспективі шлях, ймовірно, стане допоміжними технологіями, які розширюють можливості ручних операторів і продовжують їхню здатність працювати протягом більш тривалого часу.

Колаборативні роботи, або *коботи* – це допоміжні роботи, призначені для роботи в тій самій близькості, що й люди, щоб допомагати їм. Технологія може покращити робоче середовище та привабливість робочих місць, одночасно усуваючи напружені аспекти та скориставшись перевагами, які пропонують машини. Одна з проблем впровадження такої технології полягає в тому, щоб робот міг розрізняти частини людського тіла та робочі об'єкти під час різання. Підхід, передбачає використання існуючих відносно дешевих і перевірених технологій, таких як маніпулятори, 3D-камери, інтерфейси доповненої реальності та надійний алгоритм для об'єднання системи. Рішення ґрунтується на знаннях людини-оператора про найефективніший спосіб різання та передбачає двосторонній зв'язок між рукою маніпулятора та оператором. Було запропоновано два сценарії підходу:

- Людина-оператор використовує ніж, а робот утримує м'ясо та пропонує оптимальну траєкторію різання.

- Людина-оператор пропонує траєкторію різання, поки робот виконує різання.

Технологія використовує складне сприйняття людей для оцінки стану процесу різання, який наразі важко відтворити за допомогою сенсорних технологій, водночас захищаючи людей-операторів від фізичних ушкоджень, пов'язаних із виконанням завдань. Це було продемонстровано за допомогою експериментальної роботи, в який використано кобот для розрізання свинини та виявлено, що зусилля, необхідне для розрізання, було зменшено на 30% порівняно з ручною операцією. Ця технологія також має потенціал для економії грошей галузі за рахунок зниження навичок і фізичних вимог робочої сили, оскільки роботи можуть допомагати в процесі різання, виконуючи розрізи самостійно або запропонувавши операторам траєкторії різання. Наразі коботи використовуються для пакування, маркування та контролю якості на м'ясопереробних підприємствах, але з розвитком технологій коботи стануть більш інтегрованими в м'ясопереробну промисловість, підвищуючи ефективність, продуктивність і безпеку працівників.

Екзоскелети – це носимі роботизовані технології, розроблені для підвищення фізичної продуктивності людей-операторів.

> **Екзоскелет** – пристрій, призначений для поповнення втрачених функцій, збільшення сили м'язів людини і розширення амплітуди рухів за рахунок зовнішнього каркаса і привідних елементів. Екзоскелет повторює біомеханіку людини для пропорційного збільшення зусиль під час рухів.

Технологія складається з рами, оснащеної двигунами та датчиками, які забезпечують підтримку рухів користувача. Використання екзоскелетів може бути дуже корисним у галузях, які вимагають повторюваної фізичної праці та підняття важких речей, наприклад, у промисловості переробки червоного м'яса. Екзоскелети покращують стандарти безпеки на робочому місці, зменшуючи фізичне навантаження на працівників, надаючи підтримку та допомогу суглобам, а також зменшуючи тиск на них. Вони також стабілізують рухи користувача під

час використання гострих інструментів або підняття важкого обладнання чи продуктів, тим самим підвищуючи безпеку в робочому середовищі. Як наслідок, менше нещасних випадків і проблем зі здоров'ям, що призводить до підвищення продуктивності Доповнена реальність (AR) і віртуальна реальність (VR) – це два типи візуальних технологій, які можна використовувати окремо або як інтерфейс для керування коботами. AR передбачає накладання цифрових елементів на реальний світ, щоб покращити сприйняття людиною навколишнього середовища або надати додаткові дані. Зазвичай доступ до цієї технології здійснюється через смартфони, окуляри або цифрові проекції на фізичне середовище. Пристрої AR часто підключаються до датчиків або камер, які надають представлену інформацію. Останнім часом AR продемонстрував великий потенціал на бійні. Дослідження, проведене Christensen & Engell-Nørregård, продемонструвало потенціал технології в допомозі з обрізанням і розрізанням свинячого черевця. Воно включало виробництво трьох різних продуктів зі свинячої грудини з трьох різних сировинних матеріалів, які відрізнялися за вагою та вмістом тканини. Сировину сканували за допомогою КТ- сканера та перетворювали на кольорові карти, які розділяли тканини на основі їх щільності (жир, м'ясо, кістки), при цьому товщина жиру була представлена різними кольорами. Операторам була надана кришка жиру з кольоровим кодуванням, сповіщення про ідентифікатор рецепту та коригувальних дій, а також ідентифікація ліній розрізу. Незважаючи на труднощі, з якими зіткнулися під час дослідження, кінцевий продукт показав більший вихід порівняно з ручними операціями. Ця технологія пропонує операторам вікно, щоб побачити всередині каркаса, що допомагає їм уникнути помилок, які можуть призвести до значних фінансових втрат у галузі.

З іншого боку, віртуальна реальність – це цифрова симуляція, де користувач занурюється у індивідуальний віртуальний світ за допомогою гарнітури. Він служить передовим інструментом для тестування обладнання та виконання завдань, не турбуючись про наслідки. Ця технологія була прийнята для навчання працівників у галузі переробки червоного м'яса. Надання віртуального середовища небезпечних бійнь дозволяє співробітникам

відпрацьовувати протоколи безпеки та реагувати в реальному часі на будь-яку небезпеку, не наражаючи себе на небезпеку. Крім того, це пропонує перевагу, дозволяючи працівникам практикувати складні розрізи самостійно, не вимагаючи нагляду та не витрачаючи ресурси на навчання.

На якість м'яса значною мірою впливають процедури обробки до і під час початкового етапу процесу перетворення м'язів у м'ясо, яким є забій. Оптимізація процесу забою призводить до істотних економічних прибутків для бійні за рахунок підвищення якості продукції та зменшення відходів. За даними Датського науково-дослідного інституту м'яса (DMRI), який досліджував центри пакування худоби в Кореї, можна заощадити приблизно 7,6 мільярдів вон на рік за рахунок оптимізації процесу під час забою.

Вона – офіційна валюта Південної Кореї.

Зі збільшенням чисельності населення очікується, що структура галузі тваринництва природним чином зміниться від дрібного до корпоративного або повного виробництва. Відповідно, вітчизняні бійні модернізуються та розширюються, щоб відповідати зростаючим вимогам і покращувати стандарти гігієни. У Данії, наприклад, у 1970-х роках працювало 69 домашніх бійнь, але з 2015 року вони були зосереджені на 13 великомасштабних операціях. Корейська забійна галузь демонструє схожу схему з реструктуризацією через конкуренцію, яка, як очікується, ще більше прискориться, якщо визначено національну базу бійні. Станом на 2020 рік Корея може похвалитися 81 бійнею для яловичини та 86 для свинини. Прогнозується, що до 2035 року кількість бійнь свинини буде скорочено з 86 до 40, оскільки достатньо буде 15 великих пакувальників, 15 регіональних спеціалізованих бійнь і 10 загальних бійнь.

Робоче середовище на бійнях холодне, сире та шумне, що є важким для працівників. Крім того, робота на бійні передбачає використання ножів і пов'язана з частотою нещасних випадків на виробництві приблизно втричі, ніж в інших галузях. У Сполучених Штатах у працівників м'ясопереробної промисловості рівень травматизму та захворювань у 2,4 та 17 разів відповідно

перевищує показники загального працюючого населення. Крім того, працівники повинні бути добре навченими та висококваліфікованими, оскільки ефективність роботи та якість м'яса змінюються залежно від рівня кваліфікації та стану кожного працівника. У результаті очікується, що кількість нових працівників, які приходять на бійні, зменшиться, що посилить нестачу робочої сили. Щоб подолати проблеми з робочою силою, процеси автоматизації були запроваджені на великих бійнях у всьому світі, і повна автоматизація триває. Автоматизовані бійні вже працюють для великих компаній, таких як Danish Crown і Tyson. Автоматизовані бійні використовують передові технології, що включають роботів, неруйнівне зондування, передачу даних і моніторинг процесів у реальному часі. Деякі європейські та американські компанії запровадили сортувальні пристрої та машини для вимірювання якості туш яловичини, свинини та овець. Крім того, стало здійсненним обвалення туш яловичини, свинини, овець і курей за допомогою роботизованої руки. У Європі та Австралії темпи автоматизації бійні є високими через високу вартість робочої сили. Danish Crown поступово розробляє високоавтоматизовану забійну лінію на своєму заводі в Хорсенсі, Данія, починаючи з 1988 року. F- та M-лінії Marel, розташовані в Ісландії, були встановлені на більш ніж 350 бійнях свинини по всьому світу та базуються на повних або часткових лініях з продуктивність до 1400 тушок на годину. У минулому для запровадження процесів автоматизації були потрібні значні інвестиції, і багато компаній не бажали цього робити через економічні причини. Проте трудомісткі галузі забою та розповсюдження м'яса сильно постраждали від спалаху COVID-19 у 2020 році, оскільки висока щільність працівників у холодному та вологому середовищі призвела до спалахів захворювань по всьому світу. Автоматизація та оцифрування зменшать шкоду під час цієї пандемії; відповідно, з початку пандемії збільшилося встановлення автоматизованих пристроїв і роботів.

На бійнях, де переробляють червоне м'ясо, туші мають великі розміри, і обладнання повинно відповідати складності та розміру роботи. Крім того, характеристики м'яса відрізняються залежно від виду, породи, умов

вирощування, різноманітності кормів, методу розділення туші та випадків аномальної анатомії. Таким чином, недорогі датчики, програмне забезпечення та алгоритми повинні бути розроблені для керування роботами. Кожна бійня унікальна за структурою та масштабом, і такі умови, як освітлення та вологість, можуть відрізнятися. Тому важко застосувати єдину систему для всіх забійних цехів. Крім того, обладнання та процедури повинні відповідати унікальному набору класифікацій і стандартів якості, які вважаються важливими в країні.

7.5. Роботизована технологічна лінія бійні

Процес забою дещо відрізняється залежно від виду та країни, але зазвичай поділяється на етапи оглушення, знекровлення, зняття шкіри, потрошіння (потрошіння) та розділення туші. Помилки на будь-якому етапі процесу забою впливають на наступні етапи. Процеси забою свиней і корів дещо відрізняються через особливості тварин, але транспортування, швартування, оглушення, знекровлення, зняття шкіри або видалення шерсті, потрошіння, розділення, миття та сортування є звичайними.

7.5.1. Система розрізання свинячих туш

Потрошіння, видалення органів з порожнини тіла забитої тварини, може призвести до зараження туші. Це пояснюється ніжною природою вісцеральної оболонки туші.

> **Вісцеральний** – нутрощевий; належний до внутрішніх органів людини або тварин; прилеглий або повернутий до нутрощів.

Останнім часом було досягнуто прогресу в автоматизації процесу потрошіння, особливо для птиці. Однак процес потрошіння свинини та яловичини все ще не повністю автоматизований. Було розроблено частково автоматизованих роботів, які виконують видалення прямої кишки, розріз Н-кістки, видалення жиру з листя та розділення туші. Щоб потрошити кишки

травної системи, широко відомі як білі нутрощі, пряму кишку необхідно видалити як процес попередньої обробки.

Промислові роботи були впроваджені на бійні як інструмент попередньої обробки для потрошіння. На сьогоднішній день компанії, які комерціалізували технологію автоматичного розділення туш, включають Marel (Gardabaer, Ісландія), Frontmatec (Kolding, Данія), Scott (Данідін, Нова Зеландія) і Датський дослідницький інститут м'яса (Taastrup, Данія). Комерційно доступні системи можуть обробляти туші зі швидкістю від 350 до 650 голів на годину. Також були розроблені системи патрання, в основному зосереджені на свинячих і овечих тушах. У минулому дослідження методів видалення прямої кишки, розрізання кістки та грудної клітки проводилися окремо, але нещодавно була розроблена та продана система, яка об'єднує ці кроки в один процес.

Роботизовані системи для потрошіння включають станцію вимірювання, станцію обробки та блок керування. На вбудованій лінії обробки тушу необхідно розпізнавати та відстежувати, а шлях надрізу через датчик має ретельно контролюватися. Далі кінцевий ефект, такий як пиляльне полотно обробного блоку, точно переміщується до початкової точки та продовжує розріз. У випадку з тушами яловичини, свинини та овець траєкторія та діапазон руху робота мають бути широкими при видаленні кишок. У разі видалення внутрішніх органів використовувалися роботи, що працюють у певному діапазоні, наприклад, з низьким ступенем свободи (DOF). Однак у міру того, як ціни на руки роботів знижуються, а точність зростає, роботи з високим ступенем свободи з'єднань, такі як 6-осьові (6-DOF) або 7-DOF, поступово впроваджуються в забійний процес.

Нещодавно DMRI розробив крапельниці для свинячих і овечих туш. Для свинячих туш пробка захоплюється вакуумним стаканом і проштовхується в брижу, в якій вона загортається і закріплюється. Повідомлялося, що пробка-крапельниця ефективно знижує на 50% забруднення в процесі забою свинини порівняно з ручним операторським обробленням, який може працювати з 900 тушами на годину. Це обладнання продовжує поширюватися на бійню в Данії.

Через анатомічну різницю між бараниною та свининою обладнання довелося оптимізувати для використання з тушами овець. Зараз обладнання використовується на повністю автоматизованих австралійських лініях забою ягнят. Наразі Frontmatec і Marel комерціалізують роботів для видалення прямої кишки свинячих туш, але такі пристрої не розкриваються в академічних звітах. Однак, згідно зі звітом компанії, виявлення свинячих туш для ректального видалення використовує 3D-камеру або лазерний датчик і продовжує класифікацію за статтю для визначення правильного методу ректального видалення. Потім робот витягує пряму кишку, застосовуючи вакуум, прикріплений до руки робота. Повідомлялося, що швидкість обробки цих комерціалізованих роботів на сьогоднішній день становить 550–650 туш на годину, і що можна обробити свинячі туші в діапазоні 60–140 кг. Після кожної обробки туші перехресне зараження запобігається шляхом негайної дезінфекції руки робота. На сьогоднішній день не існує жодної дослідженої та комерціалізованої роботизованої системи для автоматизованого видалення нутрощів з яловичих туш. Таким чином, дослідження з роботизації яловичої туші, крім роботизації свинини та баранини, також постійно необхідні.

7.5.2. Система нарізки туші

Для видалення дихальної системи та серця, які вважаються червоними нутрощами, потрібна технологія розрізання грудей. Воно, зазвичай, виконується після розрізання черевця. Під час розрізання грудинки кишки не повинні стікати вниз і тягнутися по землі, кінцевий ефектор не повинен проникати через діафрагму, і необхідно запобігти утворенню кісткового пилу. Використовували 2D лазерний сканер і відео, щоб налаштувати вимірювання під час розрізання грудей туш овець. Крім того, використовували лазерний датчик для вимірювання відстані до шиї під час розрізання туші овець. Для вимірювання горизонтальної відстані до грудної клітки вони використовували ультразвуковий датчик. У дослідженні невеликого робота-відкривача грудей туші повідомлено про систему, в якій кінцевий ефектор із лезом розрізає по прямій лінії вздовж

грудини трохи нижче діафрагми перед тим, як вийти через шию. У цьому дослідженні тест на відкриття грудинки проводився на низькій швидкості, коли яловича туша була зафіксована, і на високій швидкості. Автори зазначили, що це не досягло цільового показника успішності виробництва (99%), оскільки на цій пілотній бійні спини великої кількості туш були зламані під час видалення шкур, що спричинило скручування туш. Таким чином, система не може розправляти тушу і завершувати розріз у кожному випадку. Дослідницька група згадала методи, які можуть подолати цю проблему, наприклад використання вищого ступеня свободи (DOF) і потужних роботів. Збільшення DOF в системі відноситься до додавання більшої кількості змінних або контрольних входів, які визначають її поведінку. Однак він має як сильні, так і слабкі сторони. Переваги збільшення DOF включають підвищену універсальність, підвищену точність і розширену функціональність. З іншого боку, недоліки включають підвищену складність, зниження надійності та високу вартість. Отже, рішення щодо збільшення DOF необхідно розглядати з компромісом між «за» і «проти».

7.5.3. Система різання голови та щелепи

Роботизована технологія для процедур попередньої обробки туш, таких як видалення частини голови зі свинячої туші, видалення листового сала, розділення туші та очищення щелепи, була комерціалізована. Для видалення свинячих голів використовуються шийнорізки Marel M-line (MNC, Marel, Gardabaer, Iceland) і AiRA RNC Neck Clipper, які можуть обробити до 650–750 свинячих туш на годину. Ці продукти можуть відрізати голову трохи вище вух туші і використовувати технологію системи 3D-зображення для розпізнавання об’єктів у цьому процесі. Системи видалення листового сала зі свинячих туш включають засіб для видалення залишків листового сала AiRA RLR і аналогічний продукт Marel (засіб для видалення листового сала M-Line, Marel, Gardabaer, Ісландія). Ці роботи можуть обробляти 650–700 голів на годину та використовувати знімальний ролик для видалення залишків сала та листового сала з лівої та правої свинячих туш одночасно. Крім того, роботизовані продукти

для очищення щелепи та розрізання кульок свинини, яловичини та овець можуть обробляти 450 голів на годину (Jowl Cleaner APT4, Frontmatec, Kolding, Данія) і можуть виробляти більш рівномірне обрізання пальців ніг, ніж те, що виконується вручну. Системи розрізання кулькових суглобів використовують систему 3D бачення для ідентифікації скакального суглоба та визначення індивідуальної висоти кожної туші. Крім того, повідомляється, що роботи-продукти з 6 DOF придатні для розділення кульок яловичини (450 голів на годину; JR-50, Джарвіс, Міддлтаун, Коннектикут, США) і овець (600 туш на годину; AHC-2, Jarvis) туші.

7.5.4. Контроль кишечника

Загалом процес потрошіння не автоматизований і покладається на ручну роботу. Однак останнім часом, оскільки людської праці стало недостатньо, проводяться дослідження для автоматизації потрошіння та оцінки якості. На сьогоднішній день не існує комерціалізованої системи потрошіння яловичих і свинячих туш. Тим не менш, потрошіння туш овець можна досягти за допомогою машинного бачення, сортувальних пристроїв і роботів із двома руками. По-перше, за допомогою системи машинного зору за допомогою камери необхідно визначити тип і розташування кожного внутрішнього органу. Потім два кінцевих ефектора відокремлюють кишки: один за допомогою вакуумного захвату з невеликою прикріпленою присоскою, а інший – за допомогою ріжучого пристрою. Операційний процес системи потрошіння спочатку піднімає ідентифікований окремий орган за допомогою вакуумного захвату, а потім розрізає сполучну тканину окремих внутрішніх органів за допомогою ріжучого пристрою, а потім повертає відокремлений орган у призначене положення за допомогою вакуумного захвату. Відповідна технологія м’якого робота і захвати, які можуть зменшити вплив на кишечник, знадобляться для автоматичного відділення кишечника. Крім того, для повної автоматизації системи необхідно

додати метод оцінки, щоб проаналізувати, чи проходить потрошення без проблем.

7.6. Система автоматичного розподілу

Процес розділення туш свинини та яловичини підвищує зручність обробки та швидкість охолодження. Оголення спинних хребців і мозку в процесі розщеплення допомагає перевірити можливу наявність абсцесів у тушах, що вимагається законодавством про безпечність харчових продуктів. Автоматична система розколювання стала популярною на модернізованих великих бійнях, тоді як ручні розколювальні пилки все ще використовувалися на невеликих бійнях. Точність поділу має вирішальне значення, тому що неправильна сегментація може спричинити проблеми під час подальших перевірок туші або наступних автоматизованих процесів. Раніше розділення туш яловичини або свинини виконувалося людиною за допомогою роторної пили, що працює на гідравлічній платформі, але це може призвести до нерівномірного розділення. Проте автоматизація за допомогою манипулятора робота нещодавно розвивається, що підвищує уніфікованість. Продемонстровано розділення туші за допомогою робота ABB IRB 6600 (ABB, Цюріх, Швейцарія). Виявлення хребта проводили за допомогою ультразвукових зображень для формування поперечних координат і контролю горизонтального положення та кута повороту пилкового полотна. У системі цього типу дані ультразвукового зворотного зв'язку автоматично коригують положення пилки та обертання навколо її осі, коли рука робота рухається вздовж хребта. Australian Meat Processor Corporation Limited (AMPC) згадала про потребу у відповідній сенсорній технології для забезпечення точної сегментації під час побудови двосторонньої системи туш. У звіті описано необхідність правильного сегментування всіх типів туш і обробки принаймні 135 туш яловичини на годину. В даний час існують повністю автоматизовані системи розділення туш яловичини та свинини, які виробляються такими компаніями, як Frontmatec, Jarvis і Marel. Відомо, що ці продукти

переробляють 450–900 голів на годину у випадку свинячих туш і 195 туш на годину у випадку розділених яловичих туш. Однак польові користувачі повідомили про відхилення розрізання від точного центру туші, що вказує на необхідність покращити точність розрізання, мінімізуючи утворення кісткового пилу.

7.7. Автоматизована система первинного різання та обвалки

У випадку з роботами для обвалення кісток, прогрес був досягнутий у лінії, яка обробляє туші невеликого розміру, і технологія була комерціалізована для туш овець, свинини та яловичини.

Первинне різання. Компанія Scott Automation, відома своїм процесом автоматизації обробки туш овець, розробила систему, яка відображає положення кісток туші за допомогою рентгенівського та лазерного 3D-вимірів туші овець. Інформація рентгенівського випромінювання передається до модуля обвалки і розраховується точне положення та кут розрізу. Вся система розділена на шість систем: рентгенівська класифікація, рентгенівська первинна система розрізів, система передньої чверті, система середньої частини, система задньої чверті та система наконечника кісточок. Після всіх етапів туша барана повністю переробляється на м'ясні частини. Ця система переробляє 600 туш на годину. Frontmatec також випустив на комерціалізацію систему, здатну розділяти 300–400 голів на годину. Комерційні продукти були розроблені Frontmatec, E + V Technology і Marel для розділення свинячої туші. Компанія Frontmatec виробляє систему розрізу лінійного типу (AGOL-800), яка ділить половину свинячої туші на три частини (нога, середня частина та передня частина). Система здатна обробляти до 800 голів на годину та вирівнює туші за допомогою вакуумної крапельниці для точного розрізання. Автоматична система первинного різання свинячої туші E + V Technology використовує руку робота та автоматизовану систему різання, подібну до конвеєрної стрічки. E + V Technology VRCS 2000 використовує роботизовану руку для первинного розрізання свинячих туш і має роторний двигун перед коміркою робота, щоб тушу завжди можна було

помістити в комірку робота в одному напрямку. І Marel, і E + V Technology також виробляють машини для різання, подібні до конвеєрної стрічки, які використовують два пиляльні леза для розрізання та поділу туш на окіст, черевце та лопатки. Характеристики туші вимірюються за допомогою камери, а місце розрізу візуалізується за допомогою лазера. Кажуть, що система Marel (Primal cutter, Marel, Gardabaer, Iceland) може обробляти 600 туш на годину.

Яловичі туші важко обробляти через їх великі розміри (200–1000 кг) і відмінності характеристик залежно від породи, віку та типу (бик, бичок, телиця, корова тощо). Таким чином, розділення туш яловичини на частини було важким процесом для автоматизації. Існує лише кілька систем для крупнорозрізної туші яловичини, включаючи роботизовані технології обробки туш. У запатентованій системі, розробленій компанією Texas Beef у 1993 році, шлях різання створюється з використанням даних рентгенівських зображень, датчиків 3D-зображення та ультразвукових датчиків для охолоджених туш яловичини. Потім робот починає велике поділ за допомогою водяних струменів під високим тиском і абразивного агента для розрізання м'яса та кісток відповідно, а також повітряних струменів для виштовхування м'яса з ділянки розрізу. Хоча патент було подано, невідомо, чи технологія була включена в поточні системи.

Скрайбування – це початкова операція розрізання бокової частини туші. Ця операція призводить до високих потенційних витрат щодо використання робочої сили та доступності через низьку точність і серйозні ризики безпеки. За даними Австралійської корпорації м'ясопереробників (AMPC), початкове дослідження скрайбінгу було виконано шляхом введення траєкторії різання на напівавтоматичному сенсорному екрані та різання рукою робота. Однак повідомлялося, що від цього методу відмовилися, оскільки він не відповідав технічним можливостям сенсорного екрану та інших систем зору на той час. Нещодавно було сказано, що технологія переглядається AMPC відповідно до розробки сенсорних екранів і систем зору. У першому дослідженні автоматизації скрайбінгу розробили технологію вимірювання, яка визначає правильне положення розрізання на туші яловичини. Вони використовували камеру 3D-

зображення та систему ідентифікації туші, розміщену на відстані 3 м від туші, щоб визначити розташування та глибину ребер та виявити контур, грудну порожнину та бік туші. Однак це дослідження, схоже, не було комерціалізовано як продукт. Нещодавно Скотт розробив комерційну роботу-систему скрайбінгу на основі роботизованої руки. Ця система використовує технологію рентгенівської абсорбціометрії з подвійною енергією (DEXA), 3D-сканер і кольорову камеру для визначення положення кістки та шляху різання. Повідомляється, що система переробляє 240 туш на годину та зменшує потребу в робочій силі на 2–3 працівників за зміну.

Z-подібний надріз – це різновид первинного методу різання яловичої туші. Цей метод різання спочатку виконує розрізи на 13-му ребрі, між 5-м і 13-м ребрами, а також через хребетний стовп на 5-му ребрі. Продемонстровано Z-подібний розріз для лівого та правого поділу яловичої туші на четвертини за допомогою руки робота в дослідженні SRDViand (Systemes Robotis'es de D'ecoupe de Viande). Для автоматизації Z-cut дослідницька група спочатку отримала інформацію про зображення туш за допомогою структурованого світла, а потім визначила шлях розрізання на основі цих даних. Шлях різання було змінено на основі набору змінних, пов’язаних із ножем, а також позиції та орієнтації кістки в просторі та контактної сили. Вони повідомили, що регулювання напрямку ножа сильно вплинуло на результати. Крім того, використання манипулятора робота з 6 DOF із інтегрованими візуальними та силовими зовнішніми датчиками забезпечило точне виконання Z-різу.

7.8. Обвалювання та жилування м'яса

Обвалювання туші є одним із процесів бійні, який найбільше виграє від автоматизації, оскільки холодні умови праці можуть схилити працівників до захворювань опорно-рухового апарату. Професійні працівники повинні вручну ідентифікувати характеристики туші та розташування кісток за допомогою візуальних і тактильних індикацій. Тому роботи повинні отримувати окремі

сигнали для зору та дотику, щоб досягти однакової продуктивності. Для автоматизації обвалки потрібні роботи з більш ніж шістьма осями свободи, і такі системи впроваджуються в Японії, Новій Зеландії та Данії. Представницькою комерційною системою є технологія кісткового обладнання Mayekawa HAMDAS-RX (Токіо, Японія). Система видаляє стегно та куприк і може обробляти 500 окосту на годину. Подібна система, WANDAS-RX, здатна обвалювати передні кінцівки та обробляти 600 одиниць на годину. HAMADAS-RX може похвалитися високою швидкістю обвалки з середньою втратою м'яса лише 60 г на одну частину шинки. Система використовує рентгенівські датчики для вимірювання розташування кісток задніх ніг і навіть включає функції для розрізнення правої та лівої ноги та вимірювання загальної довжини кістки для врахування різниці в довжині між усією литковою кісткою. і стегнова кістка. Дослідницька група, яка вивчала процес автоматизації робота-обвалки шинки на основі аналізу руху руки людини, провела поглиблене дослідження кваліфікованих робітників для розробки рук робота з 7 DOF. Було розміщено датчик сили між роботом і кінцевим ефектором, щоб виявити межу між м'ясом і кісткою під час конструювання системи робота для видалення кісток задніх кінцівок. Управління траєкторією і керування силою є важливими елементами робота-бійні. Теоретична траєкторія робота спочатку програмується, а потім змінюється за допомогою керування силою, що дозволяє роботу природним чином розпізнавати своє положення та спонтанно реагувати на силу, яку він відчуває. Сили відштовхування м'язів, жиру та кісток різні, і це повинно відображатися на роботі робота. Управління кінематичною надлишковістю та додаткові критерії у виборі рішення необхідні для забезпечення мобільності шляхів. Критерії порогу та ваги, отримані за допомогою моделі руки людини, використовувалися в плані оптимізації шляху руки робота. Однак це ще не використовується в жодному комерційному продукті.

Нещодавно було проведено дослідження, щоб підвищити зручність ручної обвалки за допомогою спільних роботів. Фізична взаємодія людини з роботом (pHRI) описує використання переносних роботизованих систем, які поєднують

людське пізнання з робототехнічною точністю. Було продемонстровано детальне нарізання свинини за допомогою колаборативного робота.

> **Колаборативний робот** – це автоматичний пристрій, який може працювати разом з людиною для створення або виробництва різних продуктів. Як і промислові роботи, коботи складаються з маніпулятора і пристрою, що забепечує необхідні рухи виконавчих органів маніпулятора.

Для розуміння передбачуваного напрямку руху леза використовувалися стратегії прогнозування та посилення сили. Згідно з результатами цього дослідження, спільне використання праці людей і роботів зменшило потребу в фізичній силі приблизно на 30%.

У міру розвитку технології автоматизації обвалки туші датчики приєднуються до робочих ножів, щоб передавати інформацію роботам. Визначено критерії для розумних ножів і представлено відповідні технології. Оптичне зондування, ближня інфрачервона спектроскопія, спектроскопія електричного імпедансу, вимірювання сили та вимірювання на основі електромагнітних хвиль можуть бути застосовані до технології розумного ножа. В іншому дослідженні розумний ніж був встановлений на руку робота, щоб продемонструвати можливість використання розумного ножа на основі зворотного зв'язку датчика для використання в камері м'ясної фабрики. Розумний ніж, встановлений на роботі, показав середню похибку 1,78% для виявлення контакту та 7,66 ± 1,45 мм для визначення глибини.

На додаток до обвалки задньої гомілки, наразі можлива автоматизація процесів обвалки свинини на основі лінії. Frontmatec виробляє різноманітні автоматичні машини для обвалки свинини, включаючи систему, здатну обробляти до 1000 середніх частин свинини на годину. У цій системі (AMBL-1000) середня частина свинячої туші рухається по конвеєру і автоматично розділяється на відділи корейки, черевної частини та хребта обертовим полотном пилки. Інша машина обрізає філе і може автоматично обробляти спинний жир і шкіру від 1000 філе на годину. Автоматичну систему також було розроблено для

обвалки свинячого черева, у якій використовується струмінь води для прорізання м'яса. Довжина, ширина, товщина та вага свинячого живота вимірюються, щоб визначити шлях різання. Після цього два роботи з 6 DOF використовують водяні струмені, щоб сформувати свинячу черевину. Система може обробити 1400 шматків свинячої очеретини на годину. Крім того, автоматичний знімач ребер може відокремлювати 1500 ребер на годину, використовуючи вимірювання на основі 3D для визначення шляху різання та видалення кісток за допомогою руки робота з 6 DOF. Поки ребра знімаються, деталь, що обробляється, фіксується на конвеєрній стрічці за допомогою вакууму.

Нещодавно для підвищення ефективності працівників було введено системи візуалізації на основі доповненої реальності; це було продемонстровано з обрізанням свинячого черевного жиру. Система на основі доповненої реальності покладається на пакет програмного забезпечення Creator і канал відображення Junaio для оцінки потенційного врожаю свинячого живота та врахування біологічної неоднорідності, оптимізуючи процес ручної обрізки та покращуючи вихід. Робочий процес спочатку завершується скануванням комп'ютерної томографії свинячого живота, яке потім керує створенням відповідного 3D-картографічного зображення. Інформація про поверхню в 3D-зображеннях наноситься на карту та трасується в 2D-зображення. Потім продукт Microsoft HoloLens можна використовувати для доставки цієї інформації оператору. Наразі система має перевагу в тому, що вона здатна вимірювати інформацію про продукт і надавати дані візуалізації працівникам. Однак пристрої AR можуть викликати у працівників відчуття дезорієнтації або запаморочення після тривалого використання. Тому при обговоренні розробки та використання технологій у цій галузі необхідні важливі міркування.

Пов'язаний із обрізанням яловичого жиру, один науково-дослідний проект був зосереджений на використанні вимірювань ультразвукового датчика для точного відділення нежирного м'яса від жиру, керуючи інструментом через математичний процес формування шляху в програмі робота, використовуючи функції планування траєкторії вбудованого програмного забезпечення.

Інформація про розміри, яку надають ультразвукові датчики, допомагає визначити межу між м'ясом і жиром, дозволяючи залишити задану товщину жиру на нежирному м'ясі. Технологія має потенціал для розвитку та комерціалізації, але вважається, що в майбутньому немає доступної інформації щодо неї.

7.9. Осередок м'ясокомбінату (MFC)

Сучасні процеси забою лінійного типу мають високу продуктивність, але мають значні інвестиційні витрати, низьку гнучкість процесу та відносно низьку впевненість у безпеці харчових продуктів. Ці питання також пов'язані з проблемами продовольчої безпеки, і сучасні технології необхідні для ефективного використання основних продовольчих ресурсів навколишньої території. Повна автоматизація можлива лише на підприємствах, які обробляють понад 600 голів на годину (близько 25 000 голів на тиждень). Більшість існуючих малих бійнь ще не задовольнили потреби, щоб гарантувати повну автоматизацію.

Існуючі бійні переходять від забою до розбирання туш по лінії забою. Однак The Meat Factory Cell (MFC) відноситься до паралельного, незалежного процесу комірки, а не до звичайного процесу лінійного типу. MFC показують потенціал автоматизації для невеликих фабрик, які відповідають правилам харчової гігієни. Технологія MFC нещодавно була впроваджена для первинного виробництва свинячих туш. На відміну від індивідуальних ліній забою, МФЦ дозволяють одночасно потрошити та нарізати м'ясо на великі шматки. Нещодавно проект «RobutcherEU» підтвердив концепцію MFC, продемонструвавши техніку автоматичного видалення обох передніх кінцівок і окістів без будь-яких ручних операцій.

MFC демонструють три основні відмінності від бійні звичайного типу. По-перше, робота виконується в клітинах (одна кімната для обвалки), а не в лініях. По-друге, поєднуються процеси забою і розділення туші. Нарешті, первинне

різання відбувається зовні, без попереднього видалення внутрішніх органів. Таким чином, MFC демонструють меншу кількість забруднень порівняно із системами загальної обробки, оскільки внутрішні частини туші не торкаються. Система MFC може значно зменшити вплив фекального забруднення кишкового вмісту шляхом видалення цільових відділів – передніх кінцівок, задніх кінцівок, шиї та попереку – замість травного тракту. Процес MFC на даний момент знаходиться на стадії дослідження, і вивчаються повністю або напівавтоматичні методи MFC, щоб збільшити застосовність цього процесу. У випадку напівавтоматизованої роботи люди та роботи співпрацюють таким чином, що робот виконує важку або повторювану роботу, а людина-працівник виконує роботу з різання. Два роботи серії ABB IRB4600 використовували в MFC для повної автоматизації з корисним навантаженням 40 і 60 кг на робочих відстанях 2,55 і 2,05 м відповідно. Один із двох роботів використовує захват, щоб схопити передні або задні ноги, а інший використовує ніж, щоб розділити тушу. У системі також використовується блок обробки туш з 3 DOF для спрощення процесу розрізання за допомогою вакуумних захватів, розташованих уздовж задньої частини туші, і механічних затискачів на голові туші. Система допомагає розтягувати тулуб туші під час розрізання ребер, ефективно допомагаючи нутрощам відділятися від туші під дією сили тяжіння. Вакуумні захвати можуть утримувати свіжі туші протягом 20–30 хв. Недавній дослідницький проект автоматизації типу MFC триває, і опубліковано деякі корисні дані щодо процесу автоматизації. Наприклад, відкритий набір даних для роботизованої обвалки MFC надає покрокові дані зображення для видалення лопатки, окосту та ребер 25 свиней. Набір даних надає інформацію про червоний, зелений, синій кольори і глибину, внутрішні та зовнішні параметри. Подальші дослідження використовували ці дані для визначення орієнтації та точок захоплення туші свині. Незважаючи на те, що точність точки захоплення на ніжці дещо відрізнялася між датським і норвезьким стилями різання, середні значення середньої точності (mAP) були зареєстровані в діапазоні 0,9504–0,9831, а похибка відстані була в межах 1,5 мм. Вивчено метод калібрування зображення

для оцінки положення об’єкта та повідомлено про високу ефективність використання центральної точки інструменту для калібрування.

Застосування належної упаковки та охолодження може призвести до отримання продуктів MFC подібної або, в деяких випадках, кращої якості, ніж існуючі продукти. Повідомлялось, що фекальні забруднення через кишковий вміст покращуються в методах MFC порівняно з традиційними системами, оскільки спочатку видаляються кишки свинячих туш. Взагалі, в процесі забою свинини вогнеметання виконується для спалювання волосяного покриву на поверхні туші. Однак їм було важко повністю видалити екскременти на поверхні свинячих туш шляхом спалювання та полірування за допомогою вогнеметання. Було повідомлено про необхідність додаткових сенсорних досліджень щодо зовнішнього забруднення туш. Поки метод MFC не буде комерціалізований, потрібна постійна розробка планів і систем регулювання харчових продуктів. Однак система MFC вважається можливою для автоматизації та сталого розвитку невеликих бійнь з низькими обсягами переробки. MFC не показали суттєвої різниці з існуючими бійнями щодо впливу на навколишнє середовище, але вони були більш економічними, ніж існуючий метод забою, що свідчить про життєздатну альтернативу. Крім того, повідомлялося, що соціальні ефекти можуть бути нижчими через менший ризик травм і нещасних випадків у порівнянні зі звичайним процесом забою.

7.10. Роботизовані техніки для бійнь. Робототехнічні захвати та конструкції кінцевих ефекторів

Оскільки бійні стають автоматизованими, ключовими технологіями, які слід враховувати, є захвати та кінцеві механізми. Бійні зараз використовують щипці і вакуумні захвати. Захвати типу щипців, зокрема, як правило, широко використовуються в промисловості. Щоб полегшити зберігання та транспортування на лінії переробки м’яса, кілька корейок або окістів зв’язують разом, щоб отримати шматок, який називається «різдвяною ялинкою», таку назву за схожість із тезкою. Використовували пневматичний захват, щоб підвісити

свинячу корейку у формі різдвяної ялинки. Цей захват мав дві губки, був легким і його легко монтувати на кінцевому механізмі робота. Також розроблено багатоцільовий захват для потрошіння та маніпулювання зовнішніми кінцівками великих тварин. Система призначена для виявлення сили, крутного моменту та ковзання, а також для спостереження за будь-яким ковзанням цільового зразка шляхом встановлення камери з однофокусною відстанню на захваті. Це дослідження є дослідницьким документом, що розробляє захват, який можна використовувати в роботах на MFC і призначений для легкого захоплення м'яких тканин.

Було розроблено метод фіксації м'яса за допомогою вакуумного захвату. У цьому дослідженні використовувався метод рухомого підйому, щоб дозволити повітрю проходити під шматками м'яса та запобігти прилипанню до вакуумного захвату. Досліджено технології вдосконалення захватів для бійнь і показано, що прості вакуумні захвати підходять для ліній забою. Danish Crown також використовує систему роботизованих вакуумних захватів, розроблену спільно з DMRI, для транспортування важкого м'яса з бійнь. Присоска в цій системі не виявила ознак розмноження бактерій протягом 8 годин робочого часу.

7.11. Гігієна та санітарія

Роботизовані кінцеві механізми, що використовуються на бійнях, можуть включати ножі, дискові пилки, вакуумні крапельниці або датчики типу зонда для вимірювання pH, усі вони становлять ризик перехресного забруднення. Відстежено зараження *сальмонелою* на голландській бійні свинини, обладнаній роботами-розбивачами та розкривачами живота.

Виявлено, що бактерії *сальмонели*, виявлені в тушах, ймовірно, походять від флори на розділювачі туш. Цей висновок вказує на те, що для запобігання перехресному зараженню потрібна негайна дезінфекція після завершення обробки або вимірювання однієї туші. Методи кінцевої дезінфекції можуть

відрізнятися залежно від компанії, але зазвичай залежать від обробки гарячою водою. В одному методі призначається модуль обробки гарячою водою, і коли обробка однієї туші завершена, рука робота повертається до призначеного модуля та продовжує дезінфекцію. В іншому методі два ідентичних кінцевих ефектора встановлюються на руку робота таким чином, що брудний кінцевий ефектор дезінфікується гарячою водою, а інший чистий інструмент обробляє іншу тушу. Після дезінфекції тепер уже чистий кінцевий ефектор повертається для обробки туші, тоді як нещодавно забруднений кінцевий ефектор переміщується для дезінфекції. Однак інший метод передбачає заміну забрудненого кінцевого ефектора на продезінфіковане лезо для кожної нової туші. Використані леза дезінфікуються послідовно, поки використовуються інші леза, а леза безперервно змінюються між використанням і дезінфекцією. У роботах-розколювачах і стрічкових пилах водяна і парова камера безперервно випускають воду і пару під час фази різання. Це допоможе зменшити залишки кісток і м'яса завдяки очищенню поверхні зрізу. На сьогоднішній день не існує жодного стандарту дезінфекції для кінцевих виконавців, але існуючі закони про стерилізацію харчових продуктів, ймовірно, можуть бути змінені та застосовані до роботів. Згідно зі статтею 29 корейського закону про санітарний контроль тваринницької продукції (фізичний огляд), «на робочій лінії необхідно через регулярні проміжки часу встановлювати гарячу воду температурою 83 °C або вище для дезінфекції ножів, які використовуються для роботи з розбирання туш та огляду. Наприклад, ці правила можуть бути застосовані до дезінфекції кінцевого ефектора, температурного режиму гарячої води під час дезінфекції або циклу заміни аксесуарів кінцевого ефектора. Припущено, що функціональні вимоги та об'єктивні стандарти повинні бути встановлені для визначення практичного застосування для забійної галузі.

Середовище бійні, як правило, вологе, що сприяє утворенню іржі на кінцевих частинах. Крім того, оскільки відбувається удар об каркас, пристрій має бути достатньо міцним, щоб запобігти поломці. З цієї причини роботи, які використовуються на бійнях, харчових фабриках і в напівпровідникових

процесах, повинні бути розроблені відповідно до принципів санітарного проектування та відповідати вимогам, визначеним Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) 14159 та Європейською групою з гігієнічної техніки та дизайну (EHEDG). немає. Існує три правила гігієнічного дизайну роботів і кінцевих ефекторів: (1) токсичні речовини, (2) мікробіологічне забруднення та (3) знебарвлення. (1) Токсичні речовини: сліди токсичних речовин можуть прилипати до харчових продуктів і переходити до споживачів під час обробки їжі роботами. У випадку роботів, які використовуються на бійнях, уникають певних звичайних покриттів для деталей роботів, а виробникам настійно рекомендується розробляти матеріали, які можуть вступати в прямий контакт з продуктами. Тому всі захватні пристрої повинні бути виготовлені з нетоксичних матеріалів. З цієї причини роботи та кінцеві виконавці, які безпосередньо взаємодіють з тушами, повинні складатися з харчової нержавіючої сталі або пластикових матеріалів. Нержавіюча сталь є найбільш підходящим конструкційним матеріалом для гігієнічного дизайну кінцевих ефекторів роботів, оскільки вона інертна та не піддається корозії. (2) Мікробіологічне забруднення: об’єкти для обробки, обробки та пакування харчових продуктів сприяють росту бактерій і грибків через наявність органічних матеріалів, високу вологість і температурні умови. Було запропоновано уникати непотрібних придатків і щілин, де можуть розмножуватися мікроорганізми, у санітарному проектуванні систем роботів, а на відкритих поверхнях слід використовувати спеціально розроблені головки гвинтів. Всі поверхні повинні бути розроблені для легкого очищення. Конструкція захвату повинна бути такою, щоб після кожного циклу обробки на контактних поверхнях було мінімальне накопичення слідів їжі. (3) Знебарвлення: іноді локалізований тиск від захоплення захватом може спричинити зміну кольору їжі через незначні зміни в структурі матеріалу. Незначна зміна кольору не впливає на харчову цінність продукту, але може розглядатися споживачами як візуальний дефект якості. У випадку з м’ясом ефект знебарвлення стає меншим, ніж у фруктах та інших харчових продуктах. Проте інколи грейфери можуть пошкодити м’ясні продукти. Таким чином, вибір

захватів, придатних для харчових матеріалів, і вимірювання сили-переміщення матеріалів захватів також є важливими.

Часто на руку робота накривають кришку, щоб мінімізувати потенційне забруднення та запобігти впливу вологи або навколишнього середовища. Кілька компаній виробляють чохли, які відповідають європейським харчовим нормам для роботів бійнь. Крім того, компанія у Франції стверджує, що виробляє чохли для роботів (TEXPRAL B+, Advanced Systems of Protection (ASP), Нансі, Франція) для бійнь, які стійкі до розпилення води під високим тиском, дезінфікуючих засобів і стирання. На додаток до фізичної міцності, покриття робота має містити харчовий захисний матеріал і не містити полівінілхлориду. Крім того, кришки, які використовуються для обробки харчових продуктів, необхідно постійно надувати та регулярно чистити, щоб мінімізувати ризик забруднення та зносу. Запропоновано операторам підтримувати постійний і достатній внутрішній тиск повітря в кришці робота та видаляти внутрішню конденсацію за допомогою циркуляції повітря.

7.12. Оптимізація зондування

Роботизована обробка може бути перешкоджана різними причинами в середовищі переробки м’яса. Бійні вологі з низькими температурами, що сприяє утворенню водяної пари, яка може негативно впливати на роботів або датчики. Крім того, морфологічна неоднорідність між тушами може викликати збій розпізнавання сенсора або помилки встановлення шляху кінцевого ефектора під час обробки туші. Важливі технології, такі як фіксація, транспортування та переміщення туш через лінію забою, необхідні для отримання однорідних даних і підтримки туш під час обробки. Таким чином, продуктивність датчика має вирішальне значення для забезпечення точності різання робота, а захист або напрямна, яка утримує тушку, також відіграє важливу роль у уникненні помилок вимірювання або місця розрізу через випадковий рух.

Щоб виконати ту саму обробку для кожної туші за допомогою робота, коли тушу поміщають у робочу зону робота, вона має рухатися в тому самому напрямку, і система, яка може направляти її, також є важливою. Якщо туша входить не в одному напрямку, це може спричинити проблеми. Наприклад, визначення зони інтересу (ROI) на туші стає складним завданням. Це, природно, спричиняє проблеми з алгоритмом, такі як збій вилучення функцій і обмеження робочої зони руки робота. Щоб вирішити цю проблему, деякі компанії кладуть свинячі туші на конвеєрні системи вертикального типу, щоб транспортувати їх в одному напрямку без обертання. Інші компанії використовують двигун, щоб правильно орієнтувати обертання туші для обробки, коли вона потрапляє в камеру робота. Система класифікації свинячої туші E + V Technology передбачає підвішування на тримачі правої сторони туші на певний період для отримання зображення ROI лівої сторони туші. Однак ця функція не може бути виконана, якщо туша достатньо велика, щоб відхилятися від стандартних специфікацій або не відповідає запрограмованим рекомендаціям. В результаті виникає помилка вимірювання, і потрібна додаткова обробка даних. Тому розробка відповідної системи направляючих має вирішальне значення для отримання однорідних даних зображення. Наразі виробники цих систем, схоже, використовують алгоритми для відновлення уражених і прихованих ділянок, щоб компенсувати неправильні зображення туші.

Крім транспортних міркувань, проекти бійнь повинні включати технологію, розроблену для запобігання пошкодженню туш. Тушки худоби, як правило, гнучкі, але безперервний удар або згинання можуть спричинити пошкодження. Наприклад, постійне обертання моторів під час обробки може нашкодити тушкам. Тому також необхідна відповідна технологія контролю туш.

7.13. Калібрування робота

Калібрування робота означає встановлення зв’язку трансформації між системою координат роботів, промислових камер і кінцевих ефекторів і включає

калібрування камери, «рука-око» та системи координат захватів або навісних інструментів. Сконструйовано робот-систему для розрізання черевної порожнини для свинячих туш, використовуючи метод бінокулярного зору та руку робота з 6 DOF. Розпізнавання провідника, розпізнавання глибини зображення та калібрування положення виконувалися за допомогою бінокулярного зору. Виділення ознак на основі машинного навчання було виконано на зображенні свинячої туші, отриманому після калібрування системи координат для кожного елемента. Через це була виявлена центральна лінія туші. Потім була спланована траєкторія розрізання свинячої туші з використанням кінцевої точки центру туші, витягнутих елементів і початкової точки. Вимірюючи відстань до туші за допомогою бінокулярного зору, можна було розрізати черевце без пошкодження внутрішніх органів.

Автоматизація бійні є необхідною, враховуючи зменшення людських ресурсів для робочої сили та зростання попиту на м'ясні продукти. Однак повністю автоматизований процес може бути недоступним на даний момент через високі початкові витрати та різний масштаб бійнь. Навіть при впровадженні обладнання оптимізація кожного процесу потребує часу. При впровадженні обладнання для автоматизації забійного процесу слід проводити аналіз економічної доцільності відповідно до очікуваного прибутку. Здається, що даними, пов'язаними з економічним аналізом, добре керують DMRI або AMPC. Незважаючи на те, що дані економічного аналізу можуть бути застосовані не для всіх бійнь, результати аналізу можна використовувати як первинні дані, що допомагають прийняти рішення щодо впровадження обладнання для бійні.

7.14. Приклади застосування роботів у м'ясному виробництві

Роботизований тример для живота

Використання робототехніки у виробництві м'яса впливає майже на всі аспекти галузі від початкових етапів обробки до кінцевих етапів пакування та

розподілу. На перших етапах виробництва м’яса роботи є невід’ємною частиною таких завдань, як забій і початкове нарізання. Ці машини створені для високої точності, гарантуючи, що зрізи виконуються відповідно до стандартів добробуту тварин і максимізують ефективність. під час обвалки та обрізки роботи, оснащені технологією бачення, можуть точно ідентифікувати кісткові структури для виконання точних надрізів, зменшуючи відходи та покращуючи врожайність. Це особливо очевидно при переробці птиці, де роботизовані системи можуть швидко знімати кістки та відокремлювати різні частини з надзвичайною швидкістю та точністю, що значно перевершує ручні можливості.

Перевірка якості та сортування – це інші сфери, де робототехніка пропонує особливу цінність, використовуючи системи бачення для перевірки м’яса на наявність дефектів і сортування продуктів за різними критеріями, такими як розмір, форма та якість. Це не тільки забезпечує постійну якість м’ясних продуктів, але й значно знижує ризик зараження.

Процеси пакування також отримують переваги від робототехніки, особливо роботів, які працюють разом з людьми, щоб ефективно пакувати м’ясні продукти. Ці роботи вміють обробляти та розміщувати м’ясо на лотках або загортати, оптимізуючи процес пакування та зменшуючи потреби в людській праці.

У кінці виробничої лінії роботи беруться за палетування, де вони організовують і складають продукти на піддони для відправлення. Ці роботи можуть справлятися з великими вантажами та виконувати свої завдання з точністю, готуючи продукти до розподілу набагато ефективніше, ніж традиційні ручні методи. Логістична сторона виробництва м’яса також використовує роботизацію для таких завдань, як управління запасами та виконання замовлень на складах. Автоматизовані керовані транспортні засоби транспортують продукти, підвищуючи ефективність і точність процесів зберігання та вилучення.

Роботи у виробництві м’яса не обмежуються завданнями обробки; вони також відіграють вирішальну роль у прибиранні та санітарії. Враховуючи суворі

гігієнічні стандарти, необхідні на підприємствах з переробки м'яса, роботи, призначені для прибирання, можуть виконувати ретельну санітарну обробку обладнання та поверхонь, забезпечуючи відповідність об'єктів нормам охорони здоров'я та безпеки. Розгортання роботів на різних етапах виробництва м'яса підкреслює значне підвищення ефективності, безпеки та якості, яке вони привносять у галузь.

Впровадження робототехніки значно підвищує ефективність і продуктивність у м'ясній промисловості. Роботи чудово виконують повторювані завдання без втоми, що призводить до суттєвого підвищення продуктивності та ефективності роботи. Крім того, ці машини забезпечують неперевершену точність, підвищуючи консистенцію та якість м'ясних продуктів, одночасно зменшуючи відходи.

Безпека працівників – ще одна важлива сфера, на яку робототехніка має значний вплив. Виконуючи небезпечні завдання, такі як різання та обвалювання, роботи мінімізують ризик травм, створюючи безпечніші робочі умови.

Крім того, автоматизація відіграє вирішальну роль у підвищенні безпеки харчових продуктів. Зменшуючи контакт людини з м'ясними продуктами, роботи допомагають знизити ризик зараження, забезпечуючи гігієну та безпеку харчових продуктів.

Екологічність є додатковою перевагою, адже робототехніка сприяє зменшенню відходів завдяки більш точним технологіям різання та обробки, що узгоджується з рухом промисловості до більш екологічних практик.

Промислові роботи , або шарнірні зброї, є головними силами виробничої лінії, відомі своєю довговічністю та здатністю виконувати повторювані завдання з непохитною точністю та швидкістю. Загальні завдання для цих роботів включають палетування та обробку пакетів. Їх головна перевага полягає в виконанні важких завдань, які вимагають підйому великих порцій м'яса, повторюваних дій протягом тривалого часу та роботи в умовах, які можуть бути небезпечними для людей. Однак недостатня гнучкість у вирішенні завдань, які вимагають точного маніпулювання або швидкої адаптації до різних розмірів і

форм продукту, може бути недоліком. Крім того, значні початкові інвестиції та потреба у виділеному просторі можуть утримати невеликі підприємства від впровадження цієї технології.

Коботи представляють собою крок вперед у робототехніці, створені для безпечної співпраці з людьми в одному робочому просторі. Вони оснащені датчиками та розширеним програмним забезпеченням, які дозволяють їм виявляти присутність людини та реагувати на неї, тим самим знижуючи ризик нещасних випадків на виробництві. Ця функція безпеки в поєднанні з їхньою універсальністю робить коботів ідеальними для завдань, які вимагають від взаємодії людини з роботом, наприклад для сортування м'яса. Незважаючи на свої переваги, у коботів є свої обмеження, зокрема менша вантажопідйомність і менша швидкість роботи порівняно з їх промисловими аналогами. Це робить їх менш придатними для завдань, які вимагають важкого підняття або швидкої обробки.

Спеціалізовані роботи для різання розроблені для виконання складних завдань, пов'язаних із нарізанням м'яса, видаленням кісток і точною підготовкою м'яса. Оснащені передовими системами зору та спеціалізованими інструментами, ці роботи пропонують неперевершену точність і послідовність. Їхня здатність безперервно працювати зменшує кількість відходів і збільшує врожайність, знаменуючи значний прогрес у технології переробки м'яса. Однак налаштування та програмування, необхідні для підготовки цих роботів до конкретних завдань, можуть призвести до вищих витрат на налаштування та довшого часу підготовки. Їхня спеціалізація також означає, що їм може знадобитися коригування або перепрограмування для перемикання між різними видами м'яса чи шматків, що представляє потенційне обмеження гнучкості.

Шарнірні роботи (рис. 21) є найбільш часто використовуваними промисловими роботами сьогодні.

Рис. 21. Шарнірні роботи [18]

Шарнірний робот має поворотні шарніри та може мати до 10 або більше осей. Це дає їм більше свободи рухів, що приносить із собою велику універсальність. Їх точність і стиль рухів дуже схожі на людську руку. Шарнірні роботи стали незамінними для обробної промисловості.

Принтер для маркування AiRA (рис. 22) поєднує в собі два шестиосьових промислових роботів, у гігієнічній конфігурації, з високооптимізованими та спеціалізованими друкувальними головками для друку позначень, таких як знак придатності ЄС або рядки тексту на кожному первинному розрізі.

Рис. 22. Принтер для маркування AiRA поєднує в собі два шестиосьових промислових роботів, у гігієнічній конфігурації, з високооптимізованими та спеціалізованими друкувальними головками [19]

Забезпечується з двох сторін однаковий принт первинного відрубу або туші; потужність до 700 тушок на годину. У процесі дві напівтуші транспортуються та фіксуються одночасно для точного друку двома роботами (по одному на кожну половину туші) високоякісною друкувальною голівкою. Робототехнічна концепція AirA забезпечує рівномірну обробку, точність і високу якість продукції. З роботами AirA, забезпечується безперервна робота на лінії обробки, оскільки роботи синхронізовані з магістральним конвеєром.

Роботизована концепція AiRA стає динамічною концепцією, як кілька AiRA роботи можуть бути встановлені вздовж головного конвеєра забою. Такі

роботи AirA можуть працювати в будь-якому типі нових або існуючих ліній забою свиней.

Роботизований тример для живота. (рис. 23). Він поєднує в собі робототехніку та інноваційні інструменти, надаючи додаткову можливість скошувати соску та задню частину живота. Обрізка та скошування черевців відбувається з мінімізованою обробкою продукту.

Позитивні характеристики тримера:

- Автоматична зміна інструменту за допомогою запасних двоструменевих фрез.
- Здатність поводитися з одним ребристим або безребристим животом.
- Можливість робити вертикальні, одинарні скошені або подвійні вирізи з боків живота; все налаштовується залежно від продукту.
- Просте налаштування параметрів живота за допомогою інтуїтивно зрозумілої панелі оператора,
- Віддалене усунення несправностей, підтримка та оновлення через захищений інтерфейс VPN і модем.

VPN (virtual private network «Віртуальна приватна мережа») – узагальнена назва технологій, які дозволяють створювати віртуальні захищені мережі поверх інших мереж із меншим рівнем довіри.

Рис. 23. Роботизований тример для живота [20]

Автоматичний витягувач стегна Frontmatec (ALP15c) (рис. 24) був повністю перероблений для максимальної продуктивності, точності та надійності. Просте розміщення та чудова обробка м’яса дають чудові результати, водночас максимізуючи вихід.

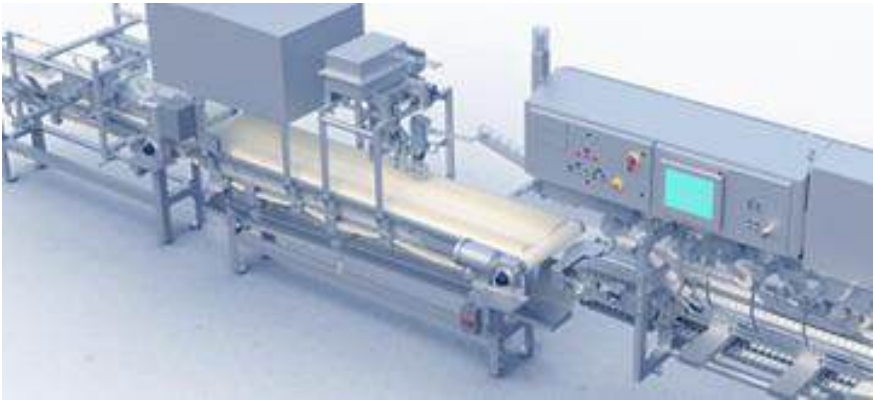


Рис. 24. Автоматичний витягувач стегна Frontmatec (ALP15c) [21]

Переваги автоматичного витягувача стегна Frontmatec (ALP15c):

- рівномірне покриття корейки жиром;
- послідовний кінцевий продукт;
- надійність вирівнювання;
- одна машина для лівого/правого стегна (опціонально);
- сантехнічний проект;
- неруйнівний тяговий ланцюг;
- блок модульної форми.

Питання для самоконтролю

1. З якою метою впроваджують роботизовані системи в технології обробки м’яса?
2. Які причини сприяли роботизації м'ясної промисловості?
3. Що означає термін «робототехніка»?
4. Що означає рівень технологічної готовності для м’ясного виробництва?
5. Як технології рентгенівського, ультразвукового та оптичного зондування використовують у роботизації м'ясної промисловості?
6. Що таке тактильне визначення в реальному часі?

7. Що таке коботи і їх призначення у м’ясному виробництві?
8. Яким слід вважати робоче середовище на бійнях7
9. З яких складових побудовано роботизовану систему розрізання свинячих туш?
10. У чому полягає роботизована система різання голови, шелеп і як відбувається конторль свинячого кишечника?
11. Як працює автоматизована система первинного різання та обвалки туш худоби?
12. Які позитивні наслідки встановлено на м’ясному виробництві від впровадження MFC?
13. Як працюють робототехнічні захвати та конструкції кінцевих ефекторів?
14. В чому полягають правила гігієнічного дизайну роботів і кінцевих ефекторів?
15. Що означає калібрування роботів у м’ясному виробництві?

Рекомендована навчальна література

1. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
2. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.
3. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
4. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств : підручник / І. Г. Бабанов та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2015. 599 с.
5. Некоз, О. І. Проектування м'ясорізальних вовчків : навч. посібник / О. І. Некоз, О. В. Батраченко ; Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2014. 221 с.
6. Сухенко, Ю. Г. М’ясо-молочне обладнання первинної переробки сировини : практикум : навч. посібник / Ю. Г. Сухенко, В. Ю. Сухенко, М. М. Муштрук ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Ю. Г. Сухенка ; Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ : Компринт, 2015. 386 с.
7. Поперечний, А. М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник / А. М. Поперечний, В. О. Потапов, В. Г. Корнійчук. Донецький національний університет економіки і торгівлі,

Харківського державного університету харчування і торгівлі. Київ : ЦУЛ, 2012. 312 с.
8. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
9. Toldrá, F. (ed.). Handbook of meat processing. John Wiley & Sons, 2010. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/mbpcgh
10. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
11. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
12. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олабоді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

Розділ 8. МОЖЛИВОСТІ АДДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У М'ЯСНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

8.1. Тривимірний друк (3D-друк)

Тривимірний друк (3D-друк) це ринок цифрових технологій, які стрімко розвиваються з величезним потенціалом для харчових виробництво, що дає можливість створювати нові харчові продукти з покращеною харчовою цінністю та сенсорним профілем, а також продукти, що адаптовані під конкретного споживача. Адитивні технології, а саме 3D-друк, є одним з наймолодших і активно розвиваються напрямків в області створення тривимірних об'єктів, у тому числі промислових кулінарний. Маркетологи вважають, що перспективи в цієї галузі надзвичайно високі. Адитивний друк дозволяє поєднання харчової сировини та тривимірного друку виробляти складні форми, текстуру та навіть смаки, які вважаються занадто складними для ручного виробництва або зовсім нездійсненні. Використання 3D-друку в науці про харчування включає різні цілі, такі як новизна/задоволення/творча діяльність, зручність та ефективність, здоров'я/харчування, зменшення відходів і підвищення стійкості, а також зменшення голоду у світі. Активізація темпів зростання адитивних харчових технологій визначається попитом на масову адаптацію певними споживачами. Налаштування їжі включає визначення точний склад окремих поживних речовин. Споживачам потрібно замовляти лише продукти, створені в строгому режимі відповідності вимогам свого щоденного раціону. Окрім того, це може дозволити врахувати специфічні індивідуальні вимоги, наприклад, у разі виникнення труднощів при жуванні та ковтанні за рахунок поєднання різних харчових інгредієнтів та методів друку. Тривимірний друк також скорочує витрати часу та праці у виробництві харчових продуктів. Адитивне виробництво (АД) – це пошарове будівництво та синтез об’єкта за допомогою комп’ютерних 3D технологій. Адитивне виробництво або технології пошарового синтезу є одними з найбільш динамічним напрямком цифрового виробництва, який активно розвивається. Як і будь-яка нова технологія 3D-друк має як позитивні

так і негативні сторони. Ключові проблеми, пов'язані з 3D-друком харчових продуктів, які включають визначення терміну «їжа» за новою технологією, способом виготовлення харчових продуктів та межі маніпулювання їстівними інгредієнтами.

У туші великої рогатої худоби відруби, які вважаються придатними для виробництво високоякісних стейків становить лише 7,2%; інший частини туш реалізують як менш цінні. Тому виробники м’ясної продукції знаходяться в постійному пошуку для нових технологій, спрямованих на покращення використання та вартість м’ясних шматків для підвищення прибутковості та глобальної конкурентоспроможності. 3D-друк може бути чудовою можливістю використання малоцінних шматків та м'ясних субпродуктів для виробництва персоналізованої м'ясної продукції. Однак для виробництва 3D-друкованого м’ясного продукту необхідний дизайн; сенсорний профіль і харчова цінність необхідні для оцінки придатності м'ясної пасти для тривимірного друку. Придатність будь-якого харчового матеріалу для тривимірного друку є його здатність до обробки і потім розповсюджується 3D-принтером у структуру вільної форми осадження, яке залежить від умов друку та реологічні властивості матеріалів.

М'ясо і субпродукти забою є волокнистими матеріалами за своєю природою та не підходять для 3D-друку. Вони вимагають модифікації їхніх реологічних і механічних властивостей шляхом додавання підсилювачів для отримання пастоподібного матеріалу. Емульгуючі та гелеутворювальні властивості харчових інгредієнтів є надзвичайно важливими для зміни реологічних та механічні властивості м’ясної пасти для 3D-друку. Гідроколоїди холодного набухання, такі як ксантанова камедь, гуар камедь і трагакант, які забезпечують виробництво термостійких гелів, можна використовувати для досягнення модифікації реологічних та механічних властивостей. Є можливість використовувати термостійкі сполучних речовин (таких як білки крові та білки сої), які для поліпшення можна додавати в м’ясний фарш для зміни його механічних властивостей і, головним чином під час його осадження та наступної

обробки. Їх внесок у зміни в реологічні характеристики м'ясної пасти ще потрібно широко дослідити. Як волокнистий матеріал, сире м'ясо необхідно перевести у форму пасти з контрольованим розміром частинок для забезпечення екструзії через сопло. Як правило, розмір частинок пасти інгредієнтів має бути значно менше запланованого діаметра сопла 3D-принтера, щоб запобігти засміченню.

Рекомендується використовувати добавки, які необхідні для легкого пресування м'ясної пасти, а також сполучних компонентів для забезпечення адгезії наступних шарів після нанесення. Наприклад, желатин, доданий в кашку з курки, свинини і риби покращує його друкованість. Було оцінено придатність м'яса індички з додаванням трансглутамінази як зв'язувального матеріалу і беконний жир як підсилювач смаку для 3D-друку. Трансглутаміназу додавали в м'ясне пюре безпосередньо перед 3D-друком, щоб зберегти його реологічні властивості. Її досліджували як харчову добавку, яка може створювати складні геометрії з м’яса. Пюре з індички з трансглутаміназою друкувався як усічений купол і приготований за допомогою методів sous-vide. Органолептична оцінка показала, що м'ясо після термічної обробки відповідає смаку і консистенції, але форма трохи спотворена. Крім того, ту саму м'ясну пасту використовували для друку куба, який містив рідкий гель селери. Курка, свинина і риба в кашоподібному вигляді з додаванням розчину желатину як підсилювач в'язкості були надруковані на 3D, хоча здатність збереження форми після обробки не оцінювалося. Встановлено, що текстуру їжі може можна змінити або шляхом поєднання матеріалів з різними текстурами у візерунках або шляхом зміни пористості продукту з утворенням мезоструктури, а поживний склад має регламентуватися змінами вихідної рецептури. Наприклад, м’ясні продукти можна надрукувати за допомогою багатоголовкового принтера, які будуть містити різні інгредієнти, розміщені в мішені м’ясної пасти, наприклад сіль, часник, жирні каші і так далі, і які полегшують різні відчуття в роті і смак. Так само можна отримати різні дизайни їжі зі зміненою текстурою та апетитним виглядом, який може нагадувати оригінальний м'ясний продукт як альтернативу

традиційним м'ясним продуктам для людей з проблемами жування та ковтання (рис. 25). Три гіпотетичні проекти наприклад ковбаса, стейк і яловичі котлети можна навести як приклад.

Рис. 25. Приклад застосування 3D-друку в м’ясопереробних виробництвах [22]

Таким чином, рекомбіновані м’ясні продукти, такі як стейки, можуть бути надруковані на 3D як моделі з м’якої м'ясної пасти з додаванням жирної кашки та інших харчових інгредієнтів, які здатні забезпечити наближення до смаку та вмісту поживних речовин біфштекса. Зараз є багато труднощів з технічної точки зору, які перешкоджають масовому виробництву 3D-друкованих м'ясних продуктів. У наш час технологія виробництва м'яса за допомогою 3D-принтера полягає в структуруванні м'ясних продуктів з різними характеристиками з основних м'ясних блоків.

8.2. Переваги м'яса, надрукованого на 3D-принтері

Щоб зробити матеріал для друку, який можна складати чарками, щоб створити структуру, що нагадує м'ясо, у процесі зазвичай використовується

комбінація рослинних або культивованих тваринних клітин та інших речовин, таких як жири. Цей підхід має низку можливих переваг:

1. *Екологічні переваги.* Традиційне тваринництво може мати менший вплив на навколишнє середовище, якщо м'ясо друкуватиметься на 3D-принтері. Це може призвести до менших викидів парникових газів і потребуватиме менше природних ресурсів, таких як земля та вода.

2. *Благополуччя тварин*. Оскільки м'ясо, надруковане на 3D-принтері, не вимагає вирощування та вбивства тварин, воно може допомогти вирішити моральні дилеми, пов'язані з благополуччям тварин.

3. *Персоналізація.* Завдяки точному контролю складу м'яса, що забезпечує технологія, можна буде налаштувати смак, текстуру та харчову цінність м'яса.

4. *Зниження рівня захворювань харчового походження.* Порівняно з м'ясом, приготованим звичайним способом, м'ясо, надруковане на 3D-принтері, може мати менший ризик зараження хворобами, оскільки воно виробляється у контрольованому середовищі.

8.3. Ключові етапи створення м'яса на 3D-принтері

Тканинна інженерія, біохімія та технологія 3D-друку - це лише деякі з областей, які об'єднуються, щоб сформувати науку, що лежить в основі 3D-друку м'яса. Короткий опис основних процедур та етапів наведено нижче:

1. Пошук клітин:

тварини використовуються як джерело клітин для вирощеного в лабораторії або культивованого м'яса за допомогою біопсії. До цих клітин відносяться міоцити (м'язові клітини), адипоцити (жирові клітини) та інші типи клітин, які беруть участь у складі м'яса;

альтернативно, будівельні блоки замінників м'яса можна знайти у рослинних білках.

2. Проліферація клітинної культури:

після збирання клітини культивуються в контрольованих умовах, де їм надаються умови, фактори росту та харчування, необхідні для розмноження.

3. Розробка біоінк:

щоб зробити біочорнила для 3D-друку, вирощені клітини поєднують із каркасом з біоматеріалу. Каркас дає клітинам підтримку та структуру, необхідні їм для формування тривимірної структури;

щоб підвищити харчову цінність та імітувати смак та текстуру справжнього м'яса, біочорнила можуть також включати додаткові інгредієнти, такі як вітаміни, мінерали та рослинні білки.

4. Процес 3D-друку:

щоб створити відповідну структуру плоті, біочорнила поміщають у 3D-принтер і наносять шар за шаром;

можуть бути використані різні технології 3D-друку, такі як струменевий або екструзійний друк. Тип використовуваних клітин та передбачуваний результат визначають, яка технологія краща.

5. Дозрівання та формування тканин:

після друку складання проходить процес дозрівання. Це означає, що клітини можуть розмножуватися і диференціюватися, щоб вони могли створювати жирові відкладення та м'язові тканини, що нагадують тканини звичайного м'яса;

обставини дозрівання включають механічну стимуляцію для підтримки організації тканин, що моделює природне середовище для розвитку м'язів.

6. Збір та обробка:

після того, як м'ясо, отримане за допомогою 3D-принтера, досягає зрілості, його збирають і перетворюють на готовий продукт. Для покращення смаку і текстури, можуть знадобитися додаткові процеси, включаючи надання форми, додавання приправ та приготування.

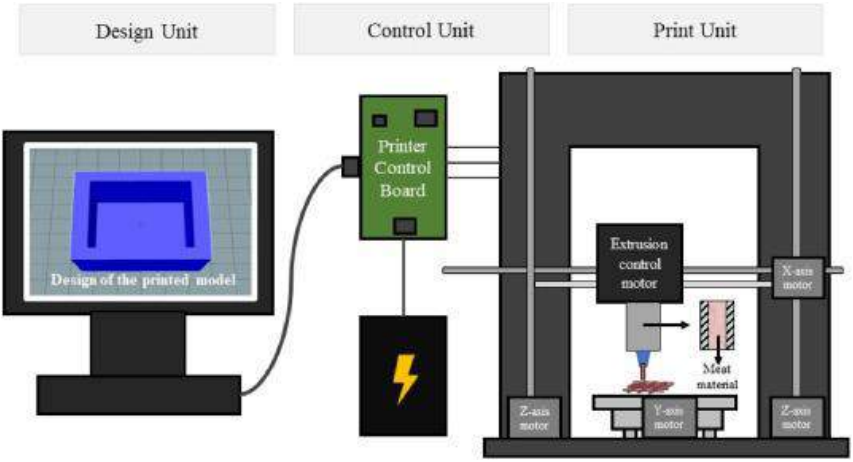


Рис. 26. Принципова схема 3D-друку м'яса [23]

Для створення продукту, дуже схожого на м'ясо, вироблене традиційним способом, весь процес спрямовано відтворення складної структури традиційного м'яса, включаючи розташування м'язових волокон і жиру. З метою покращення смаку, консистенції та масштабованість м'ясних продуктів, надрукованих на 3D-принтері, вчені та підприємства постійно вдосконалюють ці процедури.

8.4. Закони про харчові продукти для м'яса, надрукованого на 3D-принтері

1. *Безпека та маркування.* Регулюючі органи зазвичай оцінюють інноваційні продукти харчування, у тому числі м'ясо, надруковане на 3D-принтері, щодо безпеки, щоб переконатися, що вони відповідають встановленим рекомендаціям. Вимоги до точного та чіткого маркування необхідні для інформування клієнтів про характер продукту.

2. *Схвалення нових продуктів харчування.* Щоб гарантувати безпеку під час ковтання, інноваційні продукти харчування або харчові інгредієнти повинні

пройти процедури очищення в багатьох країнах, перш ніж вони зможуть бути комерціалізовані. Регулюючим органам можуть знадобитися вичерпні дані про інгредієнти, безпеку та процедуру виробництва м'яса, надрукованого на 3D-принтері.

3. *Правила біотехнології та генної інженерії.* Якщо виробничий процес включає методи генної інженерії чи біотехнології, можуть застосовуватись додаткові правила залежно від юрисдикції.

4. *Стандарти здоров'я та харчування.* Харчові продукти часто регулюються нормами охорони здоров'я та харчування, включаючи м'ясо, надруковане на 3D-принтері. Ці рекомендації гарантують, що товари не становлять небезпеки для здоров'я та відповідають мінімальним дієтичним вимогам.

5. *Екологічні та етичні міркування.* Альтернативні методи виробництва м'яса можуть спричинити етичні та екологічні проблеми, які враховуються деякими правилами.

З появою 3D-друку м'яса в галузі харчового друку стався революційний прогрес, що має величезні потенційні наслідки для майбутнього виробництва продуктів харчування. Ця технологія дає відповіді на нагальні проблеми традиційного виробництва м'яса, такі як ефективність використання ресурсів, добробут тварин та екологічна стійкість. Потенціал формування майбутнього продовольчого постачання за рахунок використання рослинних або культивованих клітин тварин у поєднанні з методами 3D-друку для створення структур, що нагадують м’ясо, створює нові можливості.

8.5. Майбутнє їжі – дивовижне м'ясо, вирощені в лабораторії та надруковані на 3D-принтері

Коли в 2013 році професор Марк Пост створив перший вирощений в лабораторії бургер, використовуючи близько 20 000 ниток білка, кулінарні критики, які скуштували його, залишилися задоволенні, але потрібно було багато

з'ясувати, перш ніж вирощене в лабораторії м'ясо стане життєздатним. З того часу було досягнуто прогресу не тільки в зниженні витрат на виробництво, але також зріс інтерес до більш стійкого та етичного постачання продуктів харчування.

3D-принтери можуть друкувати стейки, рибу та будь-які інші форми структурованих м’ясних продуктів. 3D-принтери вже давно можуть друкувати клітинні продукти та компоненти. Цей процес називається біодруком. У Steakholder Foods створено перший ***високопродуктивний біопринтер*** (рис. 27), який може друкувати з дуже високою швидкістю, надзвичайною точністю та зберігаючи життєздатність клітини протягом усього процесу. Створюються біочорнила з клітинних ліній, які ретельно відібрано для цього завдання. Наступним кроком є завантаження біочорнила в 3D-принтер, потім надсилається команда на початок друку, і цілий шматок м’яса друкується менш ніж за хвилину.

Рис. 27. Високопродуктивний біопринтер компанії Steakholder Foods, Ізраїль [24]

Після того, як стейк роздрукований, він ще не зовсім готовий. Він повинен дозрівати в інкубаторі протягом кількох тижнів, щоб клітини могли сформувати жирову та м’язову тканини. Як тільки це станеться, стейк готовий до гриля!

Окрім виробничого процесу, який базується на лабораторних умовах, а не на забої, очікуєтеся, що 3D-друкований стейк матиме такий же смак, як стейки, до яких звикли споживачі. Оскільки контролюється кожен параметр, який впливає на смак і текстуру м’яса з максимальною точністю, то соковита нарізка буде неймовірно смачною.

З поживної точки зору 3D-м’ясо ідентично звичайному м’ясу. Але багато в чому м’ясо, надруковане на 3D-принтері, корисніше, ніж м’ясо, вироблене традиційними методами. Перш за все, надруковане на 3D м’ясо культивується в стерильному та суворо контрольованому лабораторному середовищі, що залишає дуже незначну ймовірність для будь-яких патогенів контактувати з продуктом. Крім того, культивоване м’ясо не містить жодних залишків антибіотиків чи гормонів росту, які іноді зустрічаються у тварин, призначених на забій. У майбутньому можливо виготовляти стейки відповідно до конкретних потреб, наприклад більше омеги або менше холестерину – варіанти безмежні!

Майбутнє продуктів харчування може сильно відрізнятися від нинішнього: м'ясо та морепродукти виготовляються в лабораторіях або на 3D-принтерах і навіть оптимізовані за поживною цінністю для кожної людини.

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), індустріальне сільське господарство відповідає за значну частину забруднення повітря, скорочення біорізноманіття, зміни клімату та деградації земель. Вирощування продуктів харчування в лабораторіях – це одне з рішень, що дозволяє виробляти більше продуктів харчування, займаючи менше місця і завдаючи шкоди навколишньому середовищу, якщо ми зможемо знайти спосіб економічно ефективно виробляти їх у великих масштабах. Крім того, країни, що розвиваються, збільшують споживання м'яса, тому вони можуть швидко досягти рівня споживання Північної Америки та Австралії. Додаткове виробництво продуктів харчування збільшує викиди, які потім можуть зруйнувати

екосистему, яка необхідна утримання тварин і сільськогосподарських культур, які нам потрібні, щоб годувати їх, перш ніж вони будуть забиті і перероблені для нашого споживання.

8.6. Вирощене в лабораторії м'ясо

Дослідники із різних стартапів зараз вирішують проблему створення м'яса без використання тварин, щоб задовольнити майбутній попит. Вирощування м'яса в лабораторії може скоротити викиди парникових газів, спричинені сільським господарством, на 78-96 відсотків при використанні на 99 відсотків менше землі. Часто званий клітинним сільським господарством, дослідники беруть стовбурові клітини у тварин – корів, свиней, курей та морських істот – а потім поміщають їх у живильне середовище в біореакторі для виробництва «культивованого м'яса». Хоча наука поки що не може створити текстуру гарного стейку, оброблене м'ясо, таке як гамбургери, курячі нагетси та фрикадельки, отримує хороші відгуки і, як очікується, через п'ять років з'являться на полицях супермаркетів.

Прагнучи вплинути на думку про користь культивованого м'яса, створений веб-сайт Bistro In Vitro допомагає розповісти людям про користь м'яса, вирощеного в лабораторії. Мережа ресторанів швидкого харчування Burger King нещодавно випустила сендвіч Whopper, приготовлений із котлети Impossible™ – котлети, приготовленої з рослин, але має смак та аромат яловичини. Незважаючи на те, що бургер Impossible не вирощується у лабораторії, він пропонує споживачам більше альтернатив без м'яса. Це, поряд з іншими ініціативами, може зрештою допомогти більшій кількості людей прийняти альтернативи м'ясу, коли вони стануть доступними.

8.7. Розумна їжа

Оскільки постійно приділяється увага покращенню здоров'я та харчування, у харчовій промисловості розвивається новий сектор — розумне харчування. Розумна їжа не тільки попередньо упакована та зручна, а й оптимізована за поживною цінністю. Компанії по всьому світу, у тому числі Soylent (США), Huel (Великобританія) та Vitaline (Франція), орієнтовані на цю послугу. Судячи з звіту Сейнсбері, не схоже, що це станеться в надто віддаленому майбутньому до 2169 року, коли ми зможемо імплантувати їжу за допомогою мікрочіпів, розроблених спеціально для наших індивідуальних потреб.

Використовуючи рослинні білки, на 3D-принтері було надруковано перший шматок «м'яса». Ця технологія також дозволяє настроювати інгредієнти відповідно до дієтичних потреб людини. Частина завдання полягає в тому, щоб створити шматок м'яса, який за смаком, відчуттями та зовнішнім виглядом відповідатиме очікуванням споживачів, і результати стають все кращими. Найближчими роками основна увага приділятиметься продуктам харчування як лікарським засобам та продуктам харчування, сприятливим для рослин. Дедалі більше людей скорочуватимуть споживання м'яса з міркувань добробуту тварин, здоров'я та довкілля. Очікується, що ринок альтернативних білків зросте на 25 відсотків – молоко з водоростей чи борошно з цвіркунів. У майбутньому може стати нормою те, що ми насолоджуємося ідеальним стейком з філе або обсмаженим шматком тунця, надрукованим на 3D-принтері за запитом, який включає не тільки все, що нам потрібно для підтримки здоров'я, але й не зажадає від нас вбивати якихось або тварин.

Питання для самоконтролю

1. Чи можуть м'ясо і субпродукти забою використовуватись для 3D-друку?
2. Які добавки допомагають 3D-друку споживчого м’яса?
3. В чому полягають переваги м'яса, надрукованого на 3D-принтері?
4. Які основні процедури лежать в основі 3D-друку м'яса?

5. Якими законами мають керуватися споживачі надрукованого на 3D-принтері м’ясного продукту?
6. В чому полягають особливості вирощеного в лабораторії м'яса?
7. Як тлумачиться термін «розумна їжа»?

Рекомендована навчальна література

1. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
2. Технологія м'ясопродуктів із нетрадиційної м'ясної сировини : підручник / Л. В. Пешук, М. О. Янчева, О. І. Гащук, С. Г. Кириченко ; Нац. ун-т харч. технол., Харк. держ. ун-т харч. та торг. Київ : ЦУЛ, 2017. 300 с.
3. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.
4. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.
5. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
6. Пешук, Л. В. Технологія переробки вторинних продуктів м'ясної галузі : підручник / Л. В. Пешук ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : ЦУЛ, 2018. 366 с.
7. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
8. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
9. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
10. Технологія м'яса та м'ясних продуктів : дайджест. Вип. 1. [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олаборді. 3-е вид., перероб. та доп. Київ, 2021.18 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://library.nuft.edu.ua/inform/myaso2015.pdf
11. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олаборді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

Розділ 9. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОНСЕРВУВАННЯ МЯСА ТА ПРОДУКТІВ НА ЙОГО ОСНОВІ

9.1. Класифікація консервів за pH

Консерви можна класифікувати на дві категорії залежно від pH і кислотності, а також від необхідної термічної обробки для забезпечення безпеки, а також мікробіологічної стабільності: низька кислотність – вище 4,6 і висока кислотність – 4,6 або нижче. Категорія з низьким вмістом кислоти є єдиною важливою з точки зору небезпеки ботулінізму. Не було виявлено жодної спори *Clostridium botulinum*, незалежно від її типу, яка проростає, росте та виробляє токсин у їжі з pH 4,7 або нижче. Їжа з низьким вмістом кислоти повинна бути повністю переварена для забезпечення безпеки; це іноді називають ботулінічним варінням, що вимагає мінімального еквівалентного процесу 3 хвилини при 121,1 °C. Управління з контролю за продуктами й ліками США (FDA) оприлюднило правила, спрямовані на контроль виробництва консервованих продуктів із низьким вмістом кислоти. Положення, серед іншого, передбачають:

- реєстрацію всіх підприємств, що виробляють слабокислотні консерви;
- передбачити подання кожною фірмою детального опису термічних процесів, які використовуються для кожного продукту з низьким вмістом кислоти в кожному розмірі контейнера (запланований процес);
- визначити належну виробничу практику в переробці консервів із низьким вмістом кислоти;
- вимагати, щоб заклади, які не дотримуються правил, працювали під надзвичайним дозволом FDA.

Ці регуляторні заходи служать для додаткового забезпечення безпеки консервованих харчових продуктів. Однак не всі країни застосовують однаковий рівень дотримання нормативних вимог і натомість покладаються на національні вказівки, які застосовуються на місцевому рівні, часто роздрібним продавцем.

Стандарти у виробництві термічно оброблених харчових продуктів дуже схожі на стандарти Сполучених Штатів, а рівень безпеки в більшості країн не менш високий.

Будь-яку їжу з низьким вмістом кислоти, називають комерційно стерильною; проте як пастеризовані, так і стерилізовані харчові продукти можна вважати комерційно стерильними через застереження щодо мікроорганізмів, які вважаються «здатними рости в їжі». Одне з визначень комерційної стерильності дає Міністерство охорони здоров'я Великобританії: «Комерційна стерильність – це умова, досягнута шляхом застосування тепла, яке робить харчові продукти вільними від життєздатних мікроорганізмів, у тому числі тих, які мають відоме значення для охорони здоров'я, здатні рости в харчових продуктах при температурах, за яких вони ймовірно будуть зберігатися під час розповсюдження та зберігання».

Продукти з високим вмістом кислоти (pH 4,6 або нижче) зазвичай вимагають значно нижчого рівня термічної обробки для збереження, оскільки графік обробки в основному призначений для знищення вегетативних клітин. Кілька спорових бактерій, зокрема *Clostridium butyricum*, *Bacillus coagulans* та споріднені види, здатні рости в харчових продуктах із значенням pH до 4,1. Однак вони не мають жодного відомого значення для охорони здоров'я. Компанії, що переробляють їжу, навчилися запобігати псуванням такого характеру, використовуючи належні методи гігієни харчових продуктів, які зменшують початкове навантаження спорами на їжу в поєднанні з відповідними графіками термічної обробки. На ефективність тепла у знищенні мікроорганізмів впливають різні фактори. Саме з цієї причини лише помірне нагрівання не можна використовувати для виробництва безпечних стабільних пастеризованих продуктів. Найпоширенішими факторами, які використовуються в поєднанні з теплом, є pH, активність води та зберігання при низькій температурі. Навіть якщо відповідна теплова обробка застосована на бажаному рівні, якщо ці інші фактори не контролюються, мікроорганізми можуть розростатися та псувати їжу.

Наступні твердження зазвичай вірні:

- Більшість спороутворюючих бактерій пригнічуються комбінацією pH<4,6 і a_w<0,90;

- Кислотостійкі спороутворюючі бактерії виживають і ростуть при pH>3,8. Це включає багато анаеробів масляної кислоти, групу бактерій, які в анаеробних умовах можуть зброджувати цукор до масляної кислоти, включаючи *Bacillus macerans* і *Bacillus polymyxa;*

- Деякі ксерофільні та осмофільні спороутворюючі дріжджі та цвілі можуть рости нижче a_w 0,85;

- Протигрибкові речовини (консерванти) успішно використовуються в харчових продуктах для запобігання розмноженню дріжджів і плісняви;

- *C. botulinum* зазвичай не проростає і не росте в харчових продуктах з pH<4,6 або a_w<0,94, хоча деякі експериментальні умови показали ріст і вироблення токсину *C. botulinum* при pH менше 4,5.

Ксерофіли – тип екстремофілів, організми мешкають в умовах вкрай низької вологості, і не переносять високу вологість. Дані організми здатні переносити високу сухість повітря в поєднанні з високою температурою. У них добре розвинені механізми регуляції водного обміну і пристосування до збереження води в організмі.

Осмофіли - тип екстремофілів: організми, які здатні існувати у субстраті з високим осмотичним тиском. Однак організми-осмофіли приурочені до певного середовища існування не стільки залежно від осмотичного тиску, скільки від хімічного складу середовища.

9.2. Функціональні інгредієнти в м'ясоконсервній промисловості

Консервування м'яса – це давній процес, розроблений у зв'язку з необхідністю збереження швидкопсувних продуктів. Спочатку сіль використовувалася в процесах консервування м'яса. Деякі види солі надають м'ясу привабливий червонувато-рожевий колір. З середини 19 століття демографічний склад населення світу почав глобально змінюватися, виникла

велика потреба в комерційному консервуванні їжі. М'ясна промисловість пройшла шлях еволюції від галузі забою тварин до галузі переробки та консервації м'яса. На рубежі 19-20 століть у м'ясну промисловість прийшла хімія, яка показала, що важливим етапом у процесі збереження м'яса є перетворення нітратів на нітрити. Друга половина 20-го століття призвела до швидкого розвитку систем консервування м’яса, принісши з собою нове обладнання, відновники та підкислювачі, інгредієнти, що зв’язують воду, методи додавання та утримання води в обробленому м’ясі. У наш час процеси консервування м'яса стали надзвичайно складною наукою. М’ясопереробні підприємства прийшли до необхідності формування фундаментального розуміння функціональних властивостей усіх інгредієнтів, щоб використовувати їх із максимальною вигодою в умовах жорсткої конкуренції на ринку.

Останніми роками з’являється все більше досліджень щодо збагачення їжі тварин біологічно активними сполуками. Постачальникам вдається виробляти м'ясо, збагачене такими інгредієнтами, як поліненасичені жирні кислоти, вітаміни, макро- і мікроелементи. Через демографічні тенденції старіння населення стають популярними функціональні інгредієнти, які уповільнюють наслідки старіння та зміцнюють структуру кісток і суглобів.

Актуальність дослідження пов’язана з глобальним зростанням споживчого попиту та зміною стилю життя в 21 столітті, що вплинуло на міжнародний ринок м’яса. Зараз спостерігається тенденція до збільшення споживання м'яса. Сучасні споживачі добре знають про харчову цінність різних видів їжі та їхні наслідки для здоров’я. Споживачі почали вимагати високих стандартів якості та безпеки продукції. Виробники та технологи харчових продуктів стикаються з проблемою постачати продукцію без штучних добавок, консервантів та барвників, але при цьому якісну та з тривалим терміном зберігання. На сьогоднішній день розроблено багато способів збагачення м'ясних консервів функціональними інгредієнтами, що призводить до різних підходів виробників і неоднозначних трактувань споживачів. Спільним знаменником є мінімальна обробка, короткий перелік інгредієнтів і відсутність синтетичних добавок.

Протягом кількох десятиліть функціональні інгредієнти широко використовуються в м'ясоконсервній промисловості для зниження собівартості та підвищення функціональності продуктів. Функціональні інгредієнти включають рослинні білки, харчові волокна, трави та спеції, а також пробіотики. Функціональні інгредієнти можуть підвищити харчову цінність м’ясних консервів і принести користь здоров’ю людини.

Пробіотики, еубіотики – живі мікроорганізми, які можуть позитивно впливати на здоров'я людини, нормалізувати склад і функції мікрофлори шлунково-кишкового тракту (найчастіше це біфідобактерії і лактобацили, здатні проявляти антагонізм проти патогенних й умовно-патогенних мікробів)
Біфідобактерії – рід облігатно анаеробних грам-позитивних бактерій, які не утворюють спор і відрізняються гіллястою морфологією
Лактобацили – рід грам-позитивних факультативно анаеробних бактерій. Вони – велика частина групи молочнокислих бактерій, що перетворюють лактозу і інші цукри на молочну кислоту. Зазвичай непатогенні.

Соєві білки широко використовуються в м'ясних продуктах у вигляді соєвого борошна, соєвого білкового концентрату та ізоляту для поліпшення здатності зв'язувати воду і жир, підвищення стабільності емульсії, поліпшення поживності, а також зниження втрат у м'ясоконсервній промисловості. Гідролізати соєвого білка знижують кількість бактерій і подовжують термін зберігання м'ясних консервів, не впливаючи на смакові і текстурні властивості продуктів. Однак соєве борошно, концентрати та ізоляти соєвого білка характеризуються небажаними смаковими якостями. Для подолання зазначеного недоліку смаку в м'ясні консерви додають сушений соєвий порошок тофу.

Тофу або **бобовий сир** – у азійській кулінарії сироподібний харчовий продукт із соєвих бобів, багатий на білок.

Включення порошку тофу призводить до зниження вмісту жиру та збільшення вмісту білка, але не впливає на сенсорні параметри м’ясних консервів.

У нежирних м'ясних продуктах сироваткові білки демонструють відмінні поживні та функціональні властивості. Сироваткові протеїни покращують стабільність емульсії та забезпечують кращі колірні властивості. Попередньо підігріті ізоляти сироваткового протеїну утворюють гель при низьких концентраціях білка та низькій температурі, збільшуючи вологовтримування, покращуючи реологічні властивості та зменшуючи втрати під час приготування м’ясних консервів. Крім того, сироваткові білки можна включати в плівки та покриття для м’ясних продуктів, пригнічуючи аеробні бактерії та Listeria monocytogenes. Білки пшениці можуть бути чудовою функціональною добавкою в м'ясні консерви, завдяки їх здатності утворювати в'язкопружну масу клейковини при взаємодії з водою. Пшеничний глютен, гідролізований хімотрипсином, призводить до зниження активності мікробної трансглутамінази та покращення гелеутворюючих і емульгувальних властивостей ізолятів міофібрилярних білків.

Клейковина або **глютен** – група запасаючих білків, виявлених в насінні злакових рослин, особливо пшениці, жита, вівса і ячменю.
Хімотрипсин – протеолітичний фермент класу гідролаз , який забезпечує катаболізм пептидів у тонкій кишці.
трансглютаміназа – фермент, який є основною антигенною мішенню в аутоімунній реакції при целіакії.
Целіакія – це спадкове аутоімунне захворювання дітей і дорослих, що виникає внаслідок постійної непереносимості клейковини (глютену)

Додавання білків пшениці в м'ясо птиці механічної сепарації підвищує твердість продукту, але знижує еластичність. Додавання пшеничного білкового борошна підвищує вологоутримуючу здатність і знижує втрати при приготуванні м’ясних консервів, покращує текстурно-сенсорні властивості, зокрема в’язкість, адгезію, стабільність.

Жири є важливим компонентом харчування людини, оскільки вони служать джерелом вітамінів і незамінних жирних кислот, а також забезпечують більшу частину енергії в раціоні. Жир також може впливати на смак, ніжність,

соковитість, зовнішній вигляд і консистенцію м'ясних консервів. Однак надмірне споживання жиру пов'язане з різними захворюваннями, включаючи ожиріння, рак та ішемічну хворобу серця. З цієї причини м’ясоконсервна промисловість прагне виробляти м’ясні продукти з низьким вмістом жиру без шкоди для сенсорних і текстурних характеристик. Харчові волокна є одним із функціональних інгредієнтів, які забезпечують м’ясні консерви з низьким вмістом жиру та високим вмістом клітковини. Харчові волокна, залишки вуглеводів їстівної частини рослин, стійкі до травлення і всмоктування в тонкому кишечнику людини. Наразі рекомендується збільшити споживання харчових волокон через їх вплив на зниження ризику раку товстої кишки, діабету, ожиріння та серцево-судинних захворювань. Додавання суспензій харчових волокон персика до м’ясних консервів підвищує в’язкість і знижує pH, не впливаючи на втрати під час варіння, вміст білка та колагену та сенсорну оцінку консервів. Харчові волокна призводять до змін pH, активності води та залишків нітритів. Додавання харчових волокон, отриманих з гороху та кореня цикорію, покращує жорсткість м’ясних консервів без впливу на параметри консистенції та кольору, викликає відчуття більшого насичення, знижує загальні витрати жиру та енергії.

Основною реакцією, що погіршує смак, колір, консистенцію та харчову цінність консервованих м’ясних продуктів, є окислення ліпідів. Щоб запобігти окислювальному розкладанню харчових продуктів, використовуються різні синтетичні антиоксиданти, такі як бутилідрокситолуол, бутилідроксіанізол і третинний бутилгідрохінон. Однак споживачі не повністю сприймають синтетичні антиоксиданти через проблеми зі здоров'ям. Тому деякі натуральні інгредієнти, включаючи трави та спеції, вивчали як кандидатів на потенційні антиоксиданти м’яса та м’ясних продуктів, особливо в країнах Азії. З’єднання трав і спецій містять багато фітохімічних речовин, які є потенційними джерелами природних антиоксидантів, включаючи фенольні дитерпени, флавоноїди, дубильні речовини та фенольні кислоти. Ці сполуки мають антиоксидантну, протизапальну та протипухлинну дію. У харчових системах вони можуть

покращувати смак, уповільнювати погіршення якості їжі, викликане окисненням ліпідів, пригнічувати ріст мікроорганізмів і знижувати ризик деяких захворювань.

Серед прянощів гвоздика має найсильнішу антиоксидантну здатність, за нею йдуть пелюстки троянд, кориця, мускатний горіх та інші прянощі. Крім того, завдяки фенольним сполукам прянощі мають антимікробну дію. Можливі механізми антимікробної дії фенольних сполук включають зміни проникності мікробних клітин, втручання у функцію мембрани, включаючи транспорт електронів, поглинання поживних речовин, синтез білків і нуклеїнових кислот, активність ферментів, взаємодію з білками мембрани, викликаючи деформацію структури та функціональності. , заміщення алкілів у фенольному ядрі. Екстракт розмарину багатий фенольними сполуками, що обумовлює його значну антиоксидантну дію. Водорозчинний екстракт розмарину ефективно уповільнює окислення ліпідів і запобігає втраті кольору, демонструючи зниження концентрації метміоглобіну і підвищення значень оксиміоглобіну протягом восьми днів зберігання опроміненого яловичого фаршу. У реструктурованому опроміненому свинячому філе поєднання олеорезину розмарину з токоферолом ефективно знижує вміст леткого гексаналю, не надаючи жодного впливу на утворення летких сполук сірки. Катехіни, переважна група поліфенолів, присутніх у листі зеленого чаю, складаються з чотирьох сполук: епікатехіну, епікатехінгалату, епігалокатехіну та епігалокатехінгалату, покращують здоров’я, запобігаючи окисленню ліпідів і забезпечують антибактеріальний, протипухлинний і противірусний захист. Поліфеноли чаю пригнічують утворення мутагенів, які пов'язані з раком молочної залози та товстої кишки. Додані катехіни чаю забезпечують у два-чотири рази більшу антиоксидантну здатність, ніж α-токоферол, залежно від різних типів м’яса тварин. Порошок зеленого чаю може частково замінити нітрит, що призводить до зниження вмісту леткого азоту в порівнянні зі зразками, приготовленими тільки з використанням нітриту.

Гвоздика тривалий час зберігає антимікробну дію завдяки активному інгредієнту евгенолу. Гвоздична олія ефективно пригнічує інші харчові патогени, включаючи E. coli та S. aureus. Серед екстрактів спецій і трав, в тому числі кориці, орегано, цедри граната, виноградних кісточок, гвоздика є найсильнішим антиоксидантом, який уповільнює окислення ліпідів. Аліцин, основний інгредієнт часнику, має антимікробну дію проти як грампозитивних, так і грамнегативних бактерій. Аліцин отримують ферментативним шляхом з його попередника аліну з використанням проміжної сполуки аллілсульфонової кислоти. Екстракт часнику ефективно пригнічує ріст багатьох патогенів, у тому числі синьогнійної палички. Водний екстракт часнику пригнічує ріст мікробних забруднень, включаючи факультативну аеробну, мезофільну та фекальну E. coli. Екстракт шавлії сухого листя сімейства м'ятних окремо або в поєднанні з ізоаскорбатом натрію призводить до зниження активності і pH води, зменшення кількості мезофільних бактерій, покращує смакові якості м'ясних консервів.

Наукові суперечки щодо використання біологічно активних добавок у виробництві м'ясних консервів виходять з того, що використання біологічно активних добавок у виробництві м'ясних консервів обгрунтовується значно більшою енергоефективністю таких біотехнологій, як ферментативна модифікація, біоконсервація і бродіння, порівняно з термічною обробкою. Ідея виробництва м’ясних консервів, які ефективно впливають на здоров’я людини, базується на збагаченні оригінальних продуктів корисними інгредієнтами. Гарною матрицею для розробки та використання біологічно активних добавок є м’ясо та м’ясні консерви. Процес використання біологічно активних добавок у виробництві м'ясних консервів може відбуватися в два етапи або на етапі годівлі тварин, або на етапі обробки м'ясної туші. Біологічно активні добавки змінюють зовнішній вигляд, смак, аромат і консистенцію м'ясних консервів. Біоактивні пептиди – це короткі полімери, що складаються приблизно з двох-двадцяти амінокислот, з'єднаних пептидними зв'язками. У їжі вони неактивні, оскільки входять до складу білків-попередників. Біологічно активні пептиди

вивільняються в результаті обробки їжі методами ферментації або витримки, або під час травлення.

Біоактивні пептиди впливають на різні фізіологічні функції організму людини, насамперед на антиоксидантну, антигіпертензивну, протимікробну, протипухлинну, антитромботичну, протидіабетичну, імуномодулюючу та пробіотичну. Слід констатувати правильність позиції тих дослідників, які переконані в безпеці біоактивних пептидів, у можливості їх отримання з недорогої сировини, часто з відходів, за відносно дешевою технологією, що, в цілому, робить їх перспективними функціональними харчовими інгредієнтами у виробництві м'ясних консервів. Одними з найбільш вивчених прикладів біоактивних пептидів є пептиди зі здатністю інгібувати ферменти, що перетворюють ангіотензин I. Цей фермент відповідає за вироблення ангіотензину II, який звужує артерії, що призводить до підвищення артеріального тиску. Таким чином, біоактивні пептиди, які пригнічують ангіотензинперетворювальний фермент, мають антигіпертензивні властивості. Фармацевтичні інгібітори ангіотензинперетворюючого ферменту ефективно знижують смертність від інфаркту міокарда в групі ризику. Однак використання штучних інгібіторів ангіотензинперетворюючого ферменту загрожує численними побічними ефектами, а саме шкірним висипом, кашлем, ангіоневротичним набряком, на відміну від ферментів, отриманих природним шляхом. Підвищити рівень біоактивних пептидів у раціоні людини можливо за допомогою кількох стратегій. Перша стратегія заснована на включенні деяких ферментованих м'ясних продуктів в один із щоденних прийомів їжі. Друга стратегія полягає в додаванні певних білків до продуктів як пептидів, які є інгібіторами ангіотензинперетворювального ферменту. На жаль, цю стратегію важко здійснити, оскільки вона вимагає введення величезних доз білків. Третя стратегія передбачає пряме додавання біоактивних пептидів до їжі. Використання третього способу також не позбавлене деяких обмежень. Справедливою видається позиція тих дослідників, на думку яких основною перешкодою є те, що біоактивні пептиди значно погіршують сенсорні

властивості продукту, роблячи його гірким. Для подолання цього недоліку використовують пептиди тваринного походження, зокрема, гідролізати м'яса або желатину, як менш гіркі, порівняно з біоактивними пептидами з інших джерел. Крім того, використовуються інкапсуляції біоактивних пептидів ліпосомами або водно-масляними емульсіями.

> **Ліпосома** – кулеподібне утворення що має подвійний ліпідний шар. Ліпосоми мають порожнину в середині, яка зазвичай заповнена розчинником, але може використовуватись для доставки різноманітних речовин у клітини.

Ці методи дозволяють виводити на ринок нові м'ясні консерви з функціональними властивостями.

Загалом у світовій м’ясоконсервній промисловості спостерігається тенденція до використання функціональних біоактивних сполук у виробництві м’ясоконсервної продукції. Немає сумнівів у перспективності дослідницьких ідей про те, що дієтичні добавки можуть мати значний вплив на здоров'я людини. Однак вибір типу речовини та її кількості залежить від кінцевого продукту, який очікується отримати. Зокрема, важливим питанням використання функціональних біологічно активних сполук у виробництві консервованих м’ясних продуктів є питання про те, чи буде продукт перероблятися, і якщо відповідь ствердна, то який вид обробки буде застосовано. Не менш важливим у розробці функціональних біологічно активних сполук у виробництві м’ясних консервів є врахування дієтичного дефіциту певних речовин, що відзначається у різних популяціях споживачів. Процес розробки функціональних біоактивних сполук у виробництві м’ясних консервів є складним і залежить від впливу використовуваних функціональних інгредієнтів не тільки на харчову цінність, але й на кінцеву якість м’яса.

Сучасні підходи до створення функціональних продуктів на основі м’яса в основному спрямовані на зниження ризику серцево-судинних захворювань, оскільки м’ясо вважається однією з основних причин серцево-судинних захворювань. Біологічними маркерами серцево-судинних захворювань є

холестерин ліпопротеїнів низької щільності та плазма. Стратегії та методи розробки здорових функціональних продуктів на основі м’яса, спрямованих на підвищення вмісту корисних компонентів і зниження вмісту шкідливих компонентів у м’ясі, потребують узгодження із запропонованими підходами, оскільки вони здаються розумними і глибоко продуманими. Ці стратегії можуть включати як розведення тварин, так і зміну рецептів м’яса. На склад м'яса впливають умови зберігання і форма споживання м'яса. На біологічно активні сполуки, що містяться в м'ясі, можна впливати методами тваринництва. Склад тканин тварин і склад туш змінюються в залежності від виду тварини та інших ознак. Існують підходи до модифікації in vivo, спрямовані на зміну профілю та складу жирних кислот, мінералів і вітамінів, оскільки вони мають доведену ефективність як біологічно активні сполуки і легко модифікуються в тканинах. Збільшуючи вміст мононенасичених жирних кислот у кормах для тварин, можна збільшити вміст мононенасичених жирних кислот у м’ясі. Підвищити вміст поліненасичених жирних кислот у м'ясі тварин можна шляхом додавання в корм різноманітних інгредієнтів рослинного і морського походження, багатих поліненасиченими жирними кислотами. У домашньої птиці вміст холестерину в м'язовій тканині живої особини можна вибірково знизити шляхом підвищення рівня міді в кормі. Ризику перекисного окислення можна запобігти, посиливши антиоксиданти в м’язах за допомогою тваринної дієти. Додавання до раціону тварин мінералів Fe, Mg, Se, вітаміну Е підвищує відповідну концентрацію в тканинах.

В останні десятиліття практикуються методи селекції, спрямовані на зниження жирності туш. В даний час існують методи маніпулювання вмістом жиру та профілями жирних кислот у тушах, засновані на програмах генетичного розведення, з використанням генетичних маркерів, які ідентифікують конкретні локуси, які виражають кількісні характеристики. Біотехнологічні методи клонування та трансгенезу виявилися дуже ефективними науковими стратегіями.

Трансгенез - це процес введення людиною або природою чужорідного гена, званого трансгеном, у

живий організм. При цьому організм отримує властивості, які може передавати потомству. Трансгенні організми можуть експресувати чужорідні гени, оскільки генетичний код однаковий для всіх живих організмів.

Це стосується прямого маніпулювання генами, які змінюють профіль жирних кислот для покращення якості та безпеки функціональних продуктів на основі м’яса. Розробка функціональних харчових продуктів на основі м’яса шляхом модифікації систем переробки м’яса дозволяє змінювати вміст різноманітних біологічно активних сполук різними методами. Вміст жиру можна покращити, змінивши профіль жирних кислот, зменшивши вміст жиру та холестерину. Для зменшення щільності жиру додають воду і замінники жиру на основі білка або вуглеводів. Для виготовлення м'ясних виробів зі зниженим вмістом жиру в якості сировини використовується нежирне м'ясо. Жирнокислотний склад м’яса важливий для приготування здорової їжі, оскільки кожна жирна кислота має різний вплив на ліпіди плазми.

Існують стратегії, які дозволяють змінити профіль жирних кислот у м’ясі шляхом заміни нездорових жирів здоровими. Здорові жири містять меншу частку насичених жирних кислот і більшу частку ненасичених жирних кислот, включаючи низькі значення холестерину. Ліпіди рослинного або морського походження можуть бути включені безпосередньо в функціональні продукти на основі м’яса у вигляді рідких олій. До рослинних джерел ліпідів належать кукурудза, соєві боби, боби, оливки, арахіс, бавовняне насіння тощо, тоді як до морських джерел в основному належать водорості та риба. В останні роки розроблені і практично застосовані різні фізико-хімічні методи видалення холестерину з м'ясної сировини, в тому числі ферментація м'ясних продуктів за допомогою бактерій, методи розведення жиру в м'ясній сировині.

При розробці інноваційних технологій консервів для людей з малорухливим способом життя необхідно враховувати, що взаємодія генетичних і харчових факторів відіграє важливу роль в етіології багатьох соціально значущих захворювань. Думка ряду дослідників полягає в тому, що розбіжності

між геномом людини епохи палеоліту, з одного боку, та сучасним харчуванням і способом життя, з іншого боку, відіграють значну роль у виникненні захворювань ожирінням, гіпертонією, діабетом, атеросклерозом та іншими симптомами метаболізму. Синдром, викликаний переходом від дикої та необробленої їжі до дієти з високим вмістом жиру, цукру та солі, здається правдивим і справедливим. Низький рівень фізичної активності порушує регуляцію апетиту, тоді як адекватний рівень фізичної активності допомагає краще регулювати харчову поведінку. Їжа, багата харчовими волокнами, сприяє відчуттю ситості завдяки великому об'єму та низькій енергетичній щільності, тим самим запобігаючи ожирінню. Розробка інноваційних технологій консервів для людей з малорухливим способом життя, що включають велику кількість харчових волокон, сприяє зниженню ваги, викликаючи зменшення жирових відкладень. Втрата ваги пов'язана з рівнем споживання харчових волокон у злаках, фруктах і овочах, включаючи цільні зерна. Консерви для людей, які ведуть малорухливий спосіб життя, включають такі механізми, як вплив спорожнення шлунку, час проходження до тонкої кишки та вироблення гормонів у кишечнику. На кожен із цих механізмів різні типи харчових волокон впливають по-різному.

Розробка інноваційних технологій консервів для людей з малорухливим способом життя передбачає низький вміст жирів і вуглеводів у їжі. Дослідники, які стверджують, що останнім часом споживачі стали більше цікавитися продуктами та методами контролю ваги, які спрямовані на придушення апетиту, сприяння ситості, придушення травлення та засвоєння жирів і вуглеводів, а також посилення окислення жирів, звичайно, не помиляються. Це відноситься до розробки різноманітних натуральних продуктів, таких як спалювачі жиру, блокатори жиру та вуглеводів, засоби для зниження апетиту та стимулятори насичення. Рослинні екстракти відіграють важливу роль в основі консервів для людей з малорухливим способом життя.

Необхідно відзначити важливість наукової полеміки щодо використання функціональних інгредієнтів, які застосовуються при консервуванні м'яса.

Всебічне дослідження питання показало категоричну правильність ідеї виробництва м'ясних консервів, які ефективно впливають на здоров'я людини. Слід визнати, що сучасні методи маніпулювання вмістом жиру та профілями жирних кислот у тушах, розроблені наукою у співпраці з виробництвом, є важливими, засновані на програмах генетичного розведення, використовуючи генетичні маркери, які ідентифікують конкретні локуси, які виражають кількісні характеристики. У майбутньому необхідно розробити більш безпечний і ефективний процес оцінки функціональних інгредієнтів, що використовуються в м'ясних консервах, який би дозволив дотримуватися суворо наукового підходу до кожного запропонованого функціонального інгредієнта, що використовується в м'ясних консервах, і вжити заходів надавати чітку інформацію споживачам. Визнання споживачів – запорука успіху на ринку функціональних інгредієнтів, які використовуються у виробництві м'ясних консервів.

У 2022 році розмір ринку консервованого м'яса оцінювався в 11,5 мільярдів доларів США. Очікується, що галузь ринку консервованого м'яса зросте з 11,776 мільярда доларів США у 2023 році до 13,576 мільярда доларів США до 2030 року, демонструючи середньорічний темп зростання його виробництва і споживання. На нинішній ринок м'ясних консервів впливає багато чинників його зростання. Наприклад, люди в містах, які обирають консерви, альтернативні свіжому м'ясу, є суттєвою рушійною силою зростання ринку. Жвавий спосіб життя в міських регіонах і його темп спонукають громадян вибирати швидко виготовлені альтернативи їжі. Оскільки м'ясні консерви є хорошим джерелом білка і готові до вживання, люди вважають за краще їсти його більше. Для розширення розміру ринку є численні ринкові шанси. Поглиблене знання населення про переваги м'ясних консервів є однією з ключових перспектив бізнесу. Споживачі стають все більш обізнаними про легкість їсти яловичини з консервної банки та харчові переваги, які вона приносить на стіл. Міф про те, що м'ясні консерви шкідливі для здоров'я і їх не можна часто вживати, розвіюється. В результаті більше людей бажають спробувати м'ясо в банці. Продажі зростуть протягом прогнозованого періоду

ринку завдяки цій тенденції зростання обізнаності. Тому м'ясні консерви легко продаються і вживаються в їжу. Проте м’ясні консерви є основним сектором промисловості перероблених продуктів харчування, оскільки люди в усьому світі час від часу їдять консервоване м’ясо, що сприяє зростанню доходів ринку консервованого м’яса.

Однією з основних бізнес-стратегій, прийнятих виробниками в галузі м’ясних консервів, щоб принести користь клієнтам і розширити ринковий сектор, є виробництво на місцевому рівні для зниження операційних витрат. Останніми роками промисловість м’ясних консервів має значні переваги в харчовій промисловості. Зміна способу життя та смаків споживачів разом із демографічним зростанням приносить значні переваги у харчовій галузі. Основні гравці ринку консервованого м’яса, такі як American Tuna, Inc. (США), Wild Planet Foods (США), Bumble Bee Seafoods (США), Maruha Nichiro Corporation. (Японія), Vion Food Group (Нідерланди), Hormel Foods Corporation (США), JBS (Бразилія), Meat Maniac (США), Premium Iowa Pork (США), Nordic Seafood A/S (Данія) та інші працюють над розширенням ринкового попиту шляхом інвестування в науково-дослідну діяльність.

9.3. Сухе дозрівання

Сухе дозрівання – це процес дозрівання м'яса в контрольованих умовах. М’ясні туші або первинні шматки підвішують у холодильній камері (0–4 °C) з підтримкою відносної вологості від 75 до 80 % протягом 28–55 днів. До цього часу досліджувалося лише яловичина та свинина. Цей процес порівняно дорогий через потребу в якісних шматках м’яса, втрату усадки (6–15%), втрату обрізки (3–4%) і високий ризик забруднення м’яса на відкритому повітрі. Зараження на відкритому повітрі можна зменшити, упаковавши м’ясо у пакети з високою вологопроникністю. Висушене витримане м’ясо має відмінний смак і смакові якості в результаті протеолізу, ліполізу та концентрації смакових сполук через втрату води.

Протеоліз – процес поступового розщеплення (гідролізу) білків на пептиди і амінокислоти під дією ферментів-протеаз. Відбувається у живих організмах та у навколишньому середовищі під впливом мікроорганізмів.
Ліполіз – ферментативне розщеплення запасних жирів на їх складові – гліцерин та жирні кислоти

Сухе старіння надає м'ясу великої рогатої худоби коричнево-смажений, м'ясний, маслянистий, горіховий, смажений і солодкий смак. У яловичині та свинині сухе витримане м'ясо має смак умамі через високий рівень глутамату.

Умамі – смак білкових речовин, «п'ятий смак», смак м'яса, що традиційно й широко використовується в японській кулінарній культурі, і в деяких інших країнах сходу. Відчуття «умамі» створюють розчинні амінокислоти та їхні аніони – глутамат та інші

У порівняльному дослідженні м'яса, витриманого в сухому стані та м'яса, витриманого у вакуумі, було помічено, що смак умамі та смаженого на вершковому маслі був більш помітним у м'ясі, витриманому в сухому стані. Крім того, думка споживачів щодо сенсорних аспектів сухого витриманого м'яса була кращою порівняно з м'ясом, витриманим у вакуумі, м'ясо виявилося більш ніжним і соковитим. Суха витримка покращує м'якість і соковитість м'яса великої рогатої худоби та свинини.

9.4. Сухе затвердіння

Зневоднення – це процес зменшення вмісту вологи в м'ясі для збільшення терміну його зберігання. Автоматизовані сушильні камери з програмованим логічним контролером і моніторингом в режимі реального часу сьогодні широко використовуються в м'ясній промисловості. У цих камерах можна контролювати швидкість повітряного потоку, температуру, відносну вологість і розподіл потоку відповідно до розміру, форми, структури та вмісту вологи в продукті. Водоутримувальна здатність, стан м'язових білків і його мікроскопічна структура визначають властивість регідратації зневодненого м'яса. Діаметр м'язового волокна, а також простір між групами м'язових волокон зменшуються при дегідратації. Швидкість зниження вмісту вологи під час дегідратації є

високою у попередньо приготованому м’ясі порівняно з сирим м’ясом. Теплове пошкодження при зневодненні м'яса характеризується присмаком пригорілості, жорсткістю і зернистістю. Концептуалізація розподілу води в м’ясі під час зневоднення може допомогти оптимізувати процес, що можна зробити за допомогою нових неруйнівних методів, таких як гіперспектральне зображення. Дослідники ефективно використовували цю техніку на шматках яловичини, де піксельні зображення були зроблені в різні періоди часу на шести конкретних довжинах хвиль. Щодо поживної цінності «зневодненого м’яса» було проведено лише два дослідження, і вони були в 1940-х роках. Вони посилалися на зневоднене та упаковане м’ясо, отримане методами, які зараз не використовуються. Більшість країн мають власні традиційні сушені м’ясні продукти, які мають схожі сенсорні властивості.

Кіліші – це традиційний висушений на сонці м’ясний продукт, в який додаються спеції та смажиться, термін зберігання якого становить близько 12 місяців.

Більтонг – ще один продукт, де м'ясо солять і в'ялять. Обидва продукти зазвичай споживаються в африканських країнах. *Carne do sol i charque* – традиційні солоні в'ялені бразильські м'ясні продукти. *Tasajo, sou gan, pastirma* та *cecina* – це солоні та сушені м’ясні продукти, які традиційно готують і споживають у таких регіонах, як Куба, Китай, Східне Середземномор’я та Мексика, Іспанія, відповідно. *Bresaola, jamón serrano, sucuk* – це традиційне солоне ферментоване та сушене м'ясо, яке зазвичай споживають в Італії, Іспанії та Туреччині.

В’ялені м’ясні продукти мають затверділу консистенцію та зморшкуватий вигляд через зменшення об’єму, іноді м’ясо має тверду скоринку на поверхні. Ароматичні сполуки утворюються в м’ясних продуктах в результаті окислення ліпідів, що надає м’ясу характерний смак. В'ялене м'ясо має коричневий колір, залежно від температури колір змінюється від червоного до коричневого. Сіль, додана під час сушіння, також додає ефекту затемнення. Також можна додавати нітрати/нітрити, щоб змінити колір і смак м’яса. У сухих в’ялених продуктах

характерний смак зумовлений метаболітами, які утворюються в результаті дії ферментів на м’ясо.

9.5. Нові технології приготування: довготривале при низькій температурі (LTLT) і приготування Sous Vide

Приготування LTLT має численні переваги, серед яких найбільш затребуваними характеристиками є контрольована готовність, підвищена м’якість і однорідна якість споживання. При готуванні LTLT продукт досягає теплової рівноваги із середовищем нагрівання, що сприяє цим додатковим перевагам продукту в порівнянні з традиційним приготуванням при високій температурі. Основний механізм, який забезпечує більш ніжне м’ясо, незалежно від віку тварини, виду чи типу м’язів, оптимальне поєднання температури та часу ще не було повністю з’ясовано. Можливо, це пов’язано з взаємодією між протеолізом структур міофібрил і індукованою теплом денатурацією білків. Зменшення температури приготування LTLT і часу витримки покращують соковитість м’яса, але в той же час у обмеженому температурному діапазоні вищий час приготування надає приготованому м’ясу бажаний аромат і смакові характеристики. Інтенсивність смаку м’яса, приготованого LTLT, від середнього до низького порівняно з м’ясом, приготованим при вищій температурі. Тривалий час варіння послаблює сили, що утримують міофібрили разом у витриманому м’ясі, що призводить до фрагментації м’яса при нарізці, а в м’ясі з меншою кількістю сполучної тканини ступінь розм’якшення є відносно високим при приготуванні при 50–60 °C. Тривалий час нагрівання денатурує білок, навіть якщо температура варіння нижча, ніж фактична температура денатурації.

Приготування Sous Vide (приготування у вакуумі) – це нова техніка приготування, яка зазвичай використовується для приготування високоякісних страв у сфері громадського харчування. Їжу упаковують під вакуумом у термостабільний пластиковий пакет з подальшою інкубацією на водяній бані при контрольованих умовах часу та низьких температурах (53–81 °C). Температура

приготування підтримується нижчою за довшого часу приготування. Ця технологія підтримує однорідну якість м’яса та покращує органолептичні властивості готового м’яса. М’ясо, приготоване в режимі Sous Vide, є більш ніжним і рум’яним, ніж м’ясо, приготоване звичайним способом. Тривалість і температура варіння порівняно впливають на фізико-хімічні характеристики та смакові якості м’яса.

Деякі дослідження показали, що тривалість і температура приготування значно впливають на структуру м’яса. У м’ясі, приготованому Sous Vide, збільшення температури та часу приготування призводить до збільшення сили зсуву та жорсткості відповідно. Однак сила зсуву зменшується, коли Sous Vide поєднується з іншими методами обробки. Втрата води в м'ясі призводить до зморщування м'язових волокон як в поперечному, так і в поздовжньому напрямку, агрегації і гелеутворення білків саркоплазми, усадки і солюбілізації сполучних тканин, що призводить до утворення зернистих волокон. Якщо приготування Sous Vide здійснюється при вищих температурах, втрати при варінні є максимальними з мінімальними втратами при повторному нагріванні через підвищену усадку, спричинену денатурацією білків. У деяких дослідженнях приготування Sous Vide спостерігалося збільшення непрозорості поверхні м’яса через втрату води. У м’ясі, приготованому в режимі Sous Vide, червонуватий колір м’яса замінюється на коричнево-червоний з легким зеленим кольором, оскільки дезоксиміоглобін і оксиміоглобін денатуруються зі збільшенням метміоглобіну і сульфміоглобіну в результаті тривалого часу приготування. Термін придатності вареної Sous Vide курки тікка масала, традиційного індійського м’ясного делікатесу, був порівняно високим (40 днів) з незначною зміною кольору. Вищий термін зберігання був зумовлений спеціями та травами в продукті.

Обробка Sous Vide робить м’ясо більш соковитим і ніжним, і в той же час ця техніка покращує засвоюваність м’яса, згідно з дослідженнями, проведеними з травлення in vitro. Однак у дослідженні з молодими чоловіками не спостерігалося відмінностей між засвоюваністю вареного Sous Vide і смаженого

м’яса на сковороді. Засвоюваність у літніх людей залишається невідомою. Профіль летких компонентів м’яса, приготованого на суші, краще зберігається з незначним накопиченням сполук, що надають запаху, таких як гексаналь або 3-октанон, які зазвичай містяться в м’ясі, приготовленому традиційним способом. Більш високий рівень збереження вітаміну B_3 є ще однією перевагою приготування Sous Vide, оскільки температура приготування зберігається на порівняно нижчому рівні.

Приготування в режимі Sous Vide можна проводити як тривалий час при низькій температурі або короткочасний при високій температурі. Коли використовується метод приготування LTLT Sous Vide, колаген розчиняється, і утворюється більша кількість желатину з менш інтенсивним зміцненням міофібрил. Високотемпературний короткочасний варіант можна вважати більш економічним і здійсненним методом завдяки вищій безпеці та порівнянним показникам якості приготованого м’яса, але з меншим збереженням вітамінів і вищою твердістю.

Техніку Sous Vide можна комбінувати з іншими техніками, наприклад маринуванням. Наприклад, повідомили про доцільність використання комбінації технік маринування та приготування Sous Vide для отримання нових м’ясних продуктів з високим вмістом білка та без негативних характеристик. Таким чином використовуються переваги двох різних технологій без шкоди для якості продукту.

9.6. Ферментація

Ферментовані м’ясні продукти – це в основному в’ялені ковбаси, які зазвичай їдять у багатьох регіонах світу. У середземноморських регіонах це м’ясні продукти середньої вологості зі значним терміном придатності, додані спеціями, такими як паприка, часник і чорний перець, наповнені оболонкою та додатково висушені або дозрілі для посилення смаку. Попередня обробка нітритами вважається обов’язковою попередньою обробкою в більшості

європейських країн. Сполуки азоту в м'язових м'язах денатуруються ферментативно, надаючи м'ясу характерний смак. Такі ферменти, як протеаза, амінопептидази та мікробні ферменти, розщеплюють білки в м'язах, утворюючи невеликі пептиди та амінокислоти, такі як аланін, лейцин, валін, аргінін, лізин, глутамінова та аспарагінова кислоти, які надають м'ясу характерний смак. У деяких випадках стадію затвердіння оцінюють на основі концентрації цих амінокислот.

Від тривалості процесу залежить смак і якість готового продукту. Колір визначається кількістю саркоплазматичного білка. Під час бродіння pH продукту знижується, що призводить до гелеутворення саркоплазматичних і міофібрилярних білків. *Lactobacillus fermentum* використовували як замінник нітриту в харбінській червоній китайській ковбасі, і було помічено, що характерний рожевий колір в'яленого м'яса зберігається у ферментованому м'ясі. Продукти вторинного окислення, що утворюються як частина ліполізу та автоокислення в ліпідах, виробляють специфічні ароматичні сполуки, такі як спирти, альдегіди, кетони, складні ефіри та лактони під час бродіння м'яса. Було виявлено, що білки м'яса можуть виробляти біоактивні пептиди, що робить його більш сприйнятливим до використання як функціонального інгредієнта.

Зараз у харчовій промисловості використовуються закваски та захисні культури замість того, щоб покладатися на природну мікрофлору для забезпечення сенсорної та мікробної якості ферментованих м'ясних продуктів. Під час бродіння було виявлено, що виробляються різні бактеріоцини, які пригнічують ріст інших псування та патогенних мікроорганізмів.

Копчення – це давня техніка консервування, коли м'ясо піддається диму, що впливає на сенсорні та поживні характеристики м'ясних продуктів. Є позитивні ефекти, такі як покращення смаку, кольору та запаху м'яса ягняти. Вплив копчення на м'ясо посилюється з часом впливу. Гаряче копчення, холодне копчення, електростатичне копчення та використання конденсатів, ароматизаторів диму або рідкого диму – це різні види обробки копчення. Коптять м'ясо при температурі 20–25 °C при відносній вологості повітря 70–80 % і при

температурі 75–80 °C при холодному та гарячому копченні, відповідно. Електрично заряджені частинки диму, які випадають на м’ясо під час електростатичного копчення, скорочують час обробки. У продуктах, де денатурація білка, яка супроводжує процес копчення, вважається небажаною, використовуються аромати диму або конденсати.

Коптильний процес є ефективним засобом проти патогенних мікроорганізмів (*Staphylococcus aureus, Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Salmonella* spp., тощо), а також зменшує окислення ліпідів, що призводить до небажаних присмаків і окисного згіркнення. У ковбасних виробах копчення допомагає зменшити сіруватий колір. Копчення дозволяє об’єднувати різні сорти м’яса для отримання високоякісних сенсорних ковбас. Було встановлено, що сенсорні оцінки копчених продуктів із рубця буйвола, доданих екстрактом імбиру, перебувають у допустимих межах протягом періоду зберігання 15 днів. Копчення м’яса покращує сенсорні властивості, але в той же час забруднює канцерогенними залишками, такими як поліциклічні ароматичні вуглеводні або нітрозаміни. Зараз кількість залишків зменшується шляхом розділення камери для утворення диму та камери для копчення таким чином, щоб залишки випадали в осад у камері для утворення, звільняючи м’ясо від цих шкідливих залишків.

Копчення знижує водну активність м’яса, що впливає на жорсткість продукту та стійкість білка. Засвоювані незамінні амінокислоти, які допомагають оцінювати якість білка в їжі, були розраховані в копченому беконі та покращили вміст після копчення. Встановлено, що в’ялення в поєднанні з копченням підвищує pH і покращує колір, текстуру та запах м’яса буйвола. Висушування димом має комбіновану дію як ферменту, так і тепла, що призводить до змін у профілі жирних кислот у м’ясі свинини та баранини.

9.7. Засолювання

Головною метою додавання солі в м’ясо було збереження м’яса, але зараз в’ялене м’ясо користується великим попитом через характерний смак і органолептичні властивості. Відомо, що солі нітратів і нітритів створюють рожево-червоний колір і характерний смак м’яса та збільшують термін його зберігання. Нітритні солі пригнічують окислення ліпідів, що надає м’ясу прогірклий смак. Нещодавні дослідження виявили значну кількість канцерогенних побічних продуктів, які утворюються в результаті додавання нітритів до м’яса, що призводить до зменшення його використання для консервування, відкриваючи вікно для використання органічно в’яленого м’яса, де нітрати природного походження з використовуються рослинні джерела. Копчення використовувалося для покращення консервативного ефекту м’яса під час консервування, але сьогодні завдяки смаку, який надається м’ясу, копчення стало привабливим для споживачів.

Хлорид натрію відіграє багатофункціональну роль при збереженні та переробці м'яса. Це збільшує термін зберігання в’яленого м’яса за рахунок зниження водної активності м’яса, що, у свою чергу, зменшує мікробне навантаження. Сіль відіграє важливу роль у визначенні гелеутворення, емульгувальних властивостей і властивостей зв’язування м’язових білків. Останнім часом наукові організації пропонують зменшити вміст солі в оброблених харчових продуктах, що призвело до багатьох досліджень м’яса із заміною солі, щоб не погіршити смакові якості та текстуру в’яленого м’яса. Дослідження чорізо Pamplona з низьким вмістом солі виявили, що продукт був прийнятним.

Чорізо – королева іспанських ковбас. Це ссирокопчена або сиров'ялена ковбаса з копченою паприкою, нежирна, середньої твердості. Значна кількість паприки надає ковбасі характерний червоний колір та пікантний присмак.

Використання хлориду калію, підсилювачів смаку, таких як карбоксиметилцелюлоза та карагенан у поєднанні з цитратом натрію або комбінацією солей натрію, калію та магнію, або нерозчинених кристалів солі використовувалося в різних дослідженнях для зменшення хлориду натрію. вміст у м'ясі з частковим успіхом, оскільки м'ясо з низьким вмістом солі не має такого ж смаку, як м'ясо з нормальним вмістом хлориду натрію.

Маринування – це процедура розм'якшення м'яса з використанням хімічних методів. Ця обробка збільшує швидкість природного протеолізу в м'ясі за рахунок значного зниження pH м'яса після забою, стимулюючи ферментативну протеолітичну активність під час дозрівання м'язів. М'ясо обробляють сумішами різних звичайних органічних кислот, таких як лимонна кислота, оцтова кислота та винна кислота, з апельсинового соку, яблучного оцту та вина agraz-verjus. Прискорює дозрівання м'яса за рахунок скорочення часу, необхідного для його розм'якшення. Механізм, за допомогою якого маринад впливає на розм'якшення м'яса, очевидно, включає кілька факторів, включаючи ослаблення структур через набрякання м'яса, збільшення протеолізу, викликаного катепсинами, і збільшення перетворення колагену в желатин при низькому pH під час приготування.

Коли шматок м'яса безпосередньо занурюють у водний розчин із різними інгредієнтами, такими як сіль, органічні кислоти тощо, інгредієнти поступово проникають усередину шляхом осмосу. Кількість солі та інших інгредієнтів з периферійних частин кінцевого шматка перевершує таку з центральних зон, не отримуючи однорідного результату. Ось чому на промисловому рівні маринування методом занурення замінено методами вприскування маринаду, що має кілька впливів на сенсорні властивості м'яса, або технологія вприскування маринаду в курку та свинину розроблялася роками. Птахівницька промисловість використовує впорскування води та поліфосфати більше 20 років; в основному з метою сприяння утриманню води під час дозрівання та подальшого приготування, що призводить до підвищення соковитості м'яса і, разом з цим, підвищення сприйняття м'якості споживачем. Дослідники вивчили прийнятність

і термін придатності свіжого та попередньо приготовленого м’яса свинини, в яке вводили сіль, декстрозу, лимонну кислоту, триполіфосфат і пірофосфат натрію, виявивши, що в той час як лимонна кислота і пірофосфат знижують pH м’яса, триполіфосфат підвищує його, спричиняючи зниження мікробної активності. зростання та покращення сенсорних характеристик. Дослідники також використовували розчини солі та фосфату в різних шматках яловичини, спостерігаючи покращення соковитості та ніжності. Впорскування при різних тисках (345 і 200 кПа) передбачає відмінності у втратах під час варіння та в силі зсуву. Однак пом’якшення та посилення смаку м’яса шляхом занурення м’яса в розчин різних розм’якшувачів або ароматизаторів (маринування) не знайшло широкого застосування у разі використання великої рогатої худоби; тому його реальна ефективність маловідома. Різні автори проводили тести на введення розсолу, що містить, наприклад, хлорид натрію, триполіфосфат натрію та лактат натрію, виявляючи збільшення соковитості порівняно з контролем, який не вводили, але не виявляючи значних відмінностей залежно від частки введеного розсолу відносно до початкової маси м’яса. Інші випробування були зосереджені на спробах полегшити деякі несприятливі ефекти, які спостерігаються в результаті введення розсолу, такі як втрата кольору або зменшення терміну зберігання.

Деякі автори вивчали вплив маринування яловичини кислими водними розчинами. Наприклад, дослідники досліджували розм’якшення дуже тонких шматків яловичини (40×35×5 мм), отриманих з м’язів з високою сполучною тканиною, з туш, які зберігалися принаймні 48 годин у холодильнику після забою тварини та зберігалися під вакуумом при -20 °C до використання. З цими надрізами вони проводили випробування зануренням протягом 20 годин у кислотні розчини, приготовані з оцтової, лимонної або молочної кислоти, кожного окремо, або з сумішами цитрусових соків (розбавлених апельсинового та лимонного). Отримані результати дозволили їм зробити висновок, що концентрації кислоти вище 0,3 М не рекомендуються, оскільки вони викликають надмірне набухання м’яса, а також його потемніння та желатинізацію.

Дослідники також перевірили ефект маринування шматочків шиї, близько 200 г, отриманих з туш яловичини, які дозрівали через чотири дні після забою тварини. У цьому випадку розчини для маринування готували з оцтовою та молочною кислотами в концентраціях від 0,05 М до 0,25 М. Маринування проводили протягом двох-дев'яти діб. Дані про силу опору зсуву, отримані за допомогою методу Уорнера-Братцлера, показали, що чутливість дещо посилилася через два дні та трохи більше через дев'ять днів, головним чином через протеоліз. Загалом, чим вища концентрація кислоти використовується для маринаду, тим більша м'якість і більше зниження pH м'яса. Однак тести, проведені за участю експертів на тому самому м'ясі, показали, що маринування з розчином із концентрацією кислоти понад 0,15 М не рекомендовано, оскільки дослідники вважали смак надмірно кислим і відхилили його. М'ясо зі значенням pH нижче 5,0 було прийнятним лише до певного моменту.

9.8. Переформулювання

В основному можливі два способи зміни формули м'ясних продуктів: усунення або зменшення вмісту компонентів, які вважаються шкідливими для здоров'я (жиру, насичених жирних кислот, солі, нітритів тощо), і включення або збільшення вмісту речовин з поживними властивостями (харчових волокон), білки високої харчової цінності, поліненасичені жирні кислоти, мононенасичені жирні кислоти та ін.

Знижений вміст солі

Зниження вмісту солі несприятливо позначається на деяких параметрах якості м'ясних продуктів, таких як ковбаси, бекон, варена шинка, салямі. Щоб звести до мінімуму негативні ефекти, пов'язані з його текстурою та взаємодією води та жиру, використовували зв'язуючі агенти, такі як фосфати, лактати, хлориди, альгінати та трансглутаміназу, таким чином готуючи різні м'ясні продукти з використанням будь-якої з цих альтернатив. Додавання фосфатів у м'ясні продукти з низьким вмістом солі покращує сенсорні та фізико-хімічні

властивості, оскільки підвищує здатність до утримання води та жиру, а також знижує вміст солі до 50%. Гелеутворювачі, такі як альгінат кальцію або фермент трансглутаміназа, покращують зв'язувальні властивості та текстуру. Було виявлено, що поєднання різних солей натрію, калію та магнію дозволяє отримати м'ясні продукти з прийнятними сенсорними характеристиками якості.

Модифікація вмісту жиру

Зниження вмісту жиру, як правило, базується на використанні більш пісного м'яса або додаванні води та стійких крохмалів, некрохмальних полісахаридів, камедей або білків. Для розробки продуктів з низьким вмістом жиру слід враховувати початковий склад, бажаний кінцевий склад (відсоток і тип жиру) і тип обробки (варіння, в'ялення, копчення тощо), оскільки ці фактори впливають на різні якості. кінцевого продукту. Основними недоліками зниження жирності в м'ясних виробах є втрата соковитості і отримання жорсткої і гумової текстури. Рішення полягає у використанні різних комбінацій рослинних жирів, білків і вуглеводів як замінників жиру, які імітують смакові відчуття та текстуру жиру. Зменшення вмісту жиру в м'ясних продуктах не зменшує вміст холестерину, і навіть було припущено, що коли жир зменшується, а нежирне м'ясо збільшується, вміст холестерину в м'ясному продукті може збільшитися. Розробка м'ясних продуктів з меншим вмістом холестерину базується на заміні жирного та нежирного м'яса рослинними продуктами, що не містять холестерину, такими як рослинні олії та рослинні білки.

М'ясні продукти більш відповідного складу можна отримати шляхом модифікації профілів жирних кислот шляхом використання жирів рослинного та морського походження як часткових замінників м'ясних жирів. Загалом, рослинні олії багаті MUFA та PUFA та містять біоактивні сполуки. На склад жирних кислот зміненого м'ясного продукту вплине тип олії, що використовується. Для виготовлення різноманітних м'ясних продуктів використовуються рослинні олії з оливкової, соняшникової, бавовняної, кукурудзяної, соєвої, лляної, рапсової, арахісової та ін., риб'ячий жири. Хоча

заміна тваринного жиру рослинними оліями покращує ліпідний профіль продуктів, необхідно дослідити відсоток жиру, який можна замінити без негативних наслідків.

Вивчено вплив використання різних пропорцій оливкової та лляної олії для повної або часткової заміни тваринного жиру на яловичі котлети. Найкращі сенсорні результати були отримані в котлетах з яловичини, коли 50% тваринного жиру було замінено 50% суміші олій (25% оливкової олії та 75% лляної олії), що, у свою чергу, призвело до отримання продуктів з високим вмістом *n*- 6 і *n* -3 жирні кислоти харчового інтересу. Подібним чином споживачі не виявили відмінностей у сенсорних параметрах цих котлет з покращеними ліпідними профілями порівняно зі звичайними котлетами.

Зниження вмісту нітритів

Для пригнічення утворення N-нітрозамінів, отриманих з нітратів, доданих до м'ясних продуктів, були випробувані аскорбат натрію та еріторбат, але їх ефективність обмежена через низьку розчинність у жировій тканині. Були проведені дослідження щодо додавання жиророзчинних похідних аскорбінової кислоти, таких як L-аскорбілпальмітат і довголанцюгові ацеталі аскорбінової кислоти, комбінації α-токоферолу та аскорбату, а також використання молочної кислоти для інгібування утворення N-нітрозамінів.

До цих пір неможливо було знайти одну сполуку, яка б замінила нітрити, через багатофункціональну роль, яку вони виконують у м'ясних продуктах. Тому рішенням є поєднання кількох сполук, які впливають на колір, смак, антиоксидантну та антимікробну дію. Такі барвники, як еритрозин або природні фарбувальні пігменти, що утворюються під час зовнішнього висушування ("мононітрозил феррогемохром"), можна використовувати як альтернативні методи збереження кольору м'яса, обробленого нітритами. Смак, наданий в результаті додавання нітритів, зумовлений його антиоксидантною активністю, тому для його заміни можна використовувати різні антиоксиданти та хелатні хімічні агенти. Щоб замінити антимікробну дію нітритів, можна використовувати численні сполуки, такі як сорбінова кислота, калієва кислота,

гіпофосфіт натрію, ефіри фумарової кислоти, парабени, бактерії, що продукують молочну кислоту, тощо.

Включення білка та харчових волокон

Рослинні білки використовуються в м'ясних продуктах для зниження витрат і покращення харчових переваг. Соєві та соняшникові білки, похідні пшениці та кукурудзи, насіння бавовни та вівсяні пластівці використовувалися як замінники жиру в різних м'ясних продуктах, таких як фарш, гамбургери та ковбаси. Функції рослинних білків у м'ясних продуктах полягають у тому, що вони діють як сполучні речовини, покращують зв'язування води та жиру та покращують водоутримувальну здатність. Соєвий білок використовувався як функціональний інгредієнт у різних м'ясних продуктах, таких як варений фарш і ковбаси.

Харчові волокна містяться в м'ясних продуктах завдяки їх користі для здоров'я та здатності покращувати утримання води та жиру, підвищувати стабільність емульсії, підвищувати стійкість до окислення та змінювати текстуру.

Пребіотики, такі як інулін, розчинна харчова клітковина, і продукти, багаті харчовими волокнами, використовувалися для приготування свіжих, варених, ферментованих і сиро-в'ялених м'ясних продуктів.

> **Пребіотики** – це неперетравлювані компоненти їжі, які вибірково стимулюють ріст і/або активність захисної мікрофлори кишечника людини і поліпшують тим самим її здоров'я.

Багаті клітковиною продукти, які були додані, надходять із багатьох різних джерел, таких як злаки, фрукти, сушені овочі, коріння та бульби. Додавання харчових волокон покращує поживні властивості шляхом зменшення вмісту жиру, збільшення вмісту клітковини та збереження сенсорних функцій. Застосування ферментів включає розм'якшення м'яса, реструктуризацію недорогих шматків і обрізків свіжого м'яса для отримання продуктів вищої якості, а також покращення смаку та аромату.

9.9. Ферменти, що використовуються для розм'якшення м'яса

Природні протеолітичні ферменти, які покращують м'якість м'яса, можуть бути рослинного, бактеріального або грибкового походження. Найбільш широко використовуваними рослинними протеолітичними ферментами для поліпшення м'якості м'яса є папаїн, бромелайн і фіцин.

Папаїн – фермент, цистеїнова протеаза рослинного походження, від якої і отримав свою назву. Фермент каталізує гідроліз білків, пептидів, амідів і естерів. Використовується в харчовій і легкій промисловості (пом'якшення м'яса, обробка шкір).
Бромелайн – це травний фермент, виділений із ананасу. Він сприяє травленню, розщепленню білкової їжі та засвоєнню її організмом.
Фіцин – це протеолітичний фермент, який витягують із латексного соку стебел, листя та незрілих плодів американського дикого фігового дерева Ficus insipida.

Введення папаїну в яловичину пом'якшує м'ясо, підвищуючи ніжність, зберігаючи колір і органолептичні характеристики. Ін'єкція філе яловичини розчином бромелайну підвищує м'якість м'яса. Обробка мортаделли фіцином пом'якшила м'ясо без зміни його органолептичних властивостей мортаделли.

Ферменти, що використовуються для реструктуризації м'яса. *Трансглутаміназа* (TGase) покращує характеристики текстури м'яса, параметри зв'язування та продуктивності. TGase можна використовувати в м'ясних емульсіях для посилення зв'язування солюбілізованих білків, утворюючи міцнішу мережу, підвищуючи стабільність емульсії. Крім того, TGase може зв'язувати м'ясо різних форм і розмірів для отримання однорідного реструктурованого м'ясного продукту, такого як реструктурована варена шинка, курячі пельмені з низьким вмістом солі, курячий донер-кебаб і реструктурована свинина. Виробництво реструктурованих м'ясних продуктів з TGase зазвичай поєднується з додаванням білків, таких як казеїнат натрію, оброблені бісульфітом соєві боби.

Ферменти, що використовуються для створення смаку та аромату м'яса. Основними ферментативними реакціями, що впливають на смак і аромат м'ясних продуктів, є протеоліз і ліполіз. Ці реакції можуть здійснюватися ендогенними протеазами та ліпазами, ферментами мікробного походження, які природно присутні в продукті, або ферментами, доданими під час виробничого процесу. Використання ферментів для поліпшення смаку та аромату використовується в основному для в'ялених м'ясних продуктів. Під час дозрівання в'ялених м'ясних продуктів протеолітичні ферменти розщеплюють білки та утворюють азотисті сполуки та попередники летких сполук, які сприяють розвитку смаку та аромату. Ліпази гідролізують триацилгліцериди в моноацилгліцериди, діацилгліцериди та вільні жирні кислоти. Вільні жирні кислоти окислюються до летючих ароматичних сполук, які сприяють аромату кінцевого м'ясного продукту. Додавання протеаз і ліпаз в ковбасу і чорізо прискорює процеси протеолізу і ліполізу. Однак дослідники не помітили покращення смаку та аромату, а в чорізо та деяких ковбасах відбулося надмірне розм'якшення. Додавання екстракту *Lactococcus lactis* і α-кетоглутарату в салямі призвело до збільшення вмісту летких сполук і покращило сенсорні властивості салямі, підвищивши смак і аромат салямі.

α-кетоглутарат – важлива біологічна сполука. Це кетокислота, яка утворюється під час дезамінування глутамату.

9.10. Харчові добавки

Основними добавками, які використовуються у виробництві м'ясних продуктів, є антиоксиданти, зв'язуючі речовини, антимікробні речовини, затвердювачі та прискорювачі затвердіння.

Синтетичними антиоксидантами, схваленими для використання в м'ясних продуктах, є бутилгідроксіанізол, бутилгідрокситолуол, пропілгаллат, тербутилгідрохінон і токофероли. Ці антиоксиданти затримують або

пригнічують окислення м'яса та м'ясних продуктів, а отже, запобігають появі неприємних запахів і присмаків. Зв'язуючі добавки додають до м'яса, щоб підтримувати рівномірний розподіл жиру по всьому продукту та запобігати втраті води на різних етапах обробки, нагрівання, зберігання та охолодження. Сполучними добавками, що використовуються в м'ясі та м'ясних продуктах, є фосфати, крохмалі, ксантанова камедь, гуарова камедь, альгінат натрію, карагенан, карбоксиметилцелюлоза тощо. Варто виділити функції фосфатів у м'ясних продуктах, які полягають у збільшенні здатності утримувати воду та підвищення стабілізації емульсії. Фосфати також виконують інші функції, такі як стабілізація кольору, інгібування окислення ліпідів і сприяння дисперсії білка.

Синтетичними добавками, що застосовуються як протимікробні засоби в м'ясних продуктах, є органічні кислоти: оцтова, молочна, пропіонова, сорбінова, бензойна, лимонна, сульфіти. Сульфіти мають антимікробну дію проти мікроорганізмів, що розкладаються; однак сульфіти викликають проблеми зі здоров'ям, такі як алергічні реакції у чутливих людей. Органічні кислоти мають активність проти широкого спектру патогенних і руйнівних мікроорганізмів. Сорбінова кислота використовується в м'ясних продуктах за її пригнічувальну дію проти дріжджів і цвілі. Однак він не впливає на молочнокислі бактерії, що робить його корисним як консервант у ферментованих м'ясних продуктах.

Нітрати та нітрити є найбільш широко використовуваними затверджувачами м'ясних продуктів. Нітрити надають червоного кольору та смаку в'яленого м'яса, а також мають антиоксидантні та антимікробні властивості. Відновлення нітритів і нітратів до оксиду азоту є важливим для кольору в'яленого м'яса. Нітрозилміоглобін, який є домінуючим пігментом у в'ялених м'ясних продуктах, утворюється в результаті взаємодії оксиду азоту з *гемовою* групою міоглобіну. Прискорювачі затвердіння, такі як аскорбат натрію, еритробат натрію, аскорбінова кислота або еритробінова кислота, додають до м'яса, щоб прискорити процес затвердіння, оскільки вони відновлюють нітрити до оксиду азоту. Нітрити реагують з амінами та амінокислотами, що призводить до утворення N-нітрозамінів, які є хімічними

агентами з потенційно канцерогенною, мутагенною та тератогенною діяльністю. З цієї причини шукаються альтернативи для зменшення або виключення додавання нітритів у м’ясні продукти та зменшення ризиків для здоров’я.

Натуральні антиоксидантні інгредієнти. Природні антиоксидантні компоненти за своїми технологічними властивостями можуть використовуватися як харчові добавки до м’яса та м’ясних продуктів. Антимікробна та антиоксидантна активність деяких рослинних екстрактів та/або їх ефірних олій в основному пов’язана з наявністю деяких основних біологічно активних сполук, включаючи фенольні кислоти, терпени, альдегіди та флавоноїди. Слід підкреслити, що природні антиоксиданти можуть бути включені в пакувальні системи, про що раніше пояснювалося у відповідному розділі.

9.11. Ефірні олії, спеції та рослинні екстракти

У деяких випадках додавання ефірних масел або спецій може мати негативний вплив на м'ясо. Наприклад, додавання ефірних олій орегано і чебрецю в м'ясо ягняти в концентраціях більше 1% створює сильний запах і неприємний смак у продукті. Додавання різних екстрактів, таких як гвоздика або кориця, до сирої курки може збільшити значення L^*, a^* і b^* під час зберігання. Кориця також посилює почервоніння фрикадельок, хоча це не впливає на інші сенсорні характеристики. Додавання порошку куркуми до котлет з кролика змінило колір м’яса через жовтий колір куркуми. Тому необхідні дослідження концентрацій доданих олій і спецій, щоб уникнути цих негативних впливів на сенсорні характеристики. Додавання екстракту гвоздики до варених і охолоджених котлет з яловичини збільшило червоний колір котлет і зберегло сенсорні характеристики до 10 днів зберігання. Додавання кмину, гвоздики та кардамону в риста, традиційний індійський м’ясний продукт з овечого м’яса, приготований зі спеціями, покращило термін зберігання м’ясного продукту до 25 днів із високим загальним показником прийнятності.

Антиоксидантна активність екстракту розмарину була оцінена в гамбургерах зі свининою, і було помічено, що він не спричинив жодного негативного впливу на сенсорні характеристики або загальну прийнятність продукту. Додавання розмарину (0,25% *об.* / *мас.*) не вплинуло негативно на смак м'яса індички. Додавання екстракту орегано в гамбургери з овець не вплинуло на сенсорні властивості гамбургерів. Жодної порівнянної різниці в ароматі, смаку та загальній прийнятності не спостерігалося в ковбасах з низьким вмістом солі, коли до них додавали похідні часнику. Додавання екстрактів зеленого чаю до котлет з яловичини з низьким вмістом сульфіту затримало появу прогірклого смаку, зменшило втрату червоного кольору та не змінило запах, смак і текстуру котлет. Додавання 250 мг/кг екстракту виноградних кісточок не вплинуло на сенсорні характеристики або інструментальний колір яловичини, збагаченої *n* -3 і CLA. Однак додавання екстрактів виноградних кісточок і зеленого чаю може потемніти свинячі фрикадельки. Сенсорна якість не була негативно змінена, коли чорницю додавали до гамбургерів зі свининою та вареної свинячої шинки, або коли екстракти малинових вичавок додавали до гамбургерів з яловичиною, або екстракт гранатової шкірки та гранатового соку у варених курячих котлетах.

Винні вичавки, також звані виноградними вичавками, побічний продукт виноробства, багатий антиоксидантами, використовуються для приготування м'ясних продуктів. Наприклад, вичавки червоного вина можуть бути альтернативою сульфітам як м'ясна добавка для захисту котлет з яловичини від окислення білка. Однак присутність антоціанів у червоному винограді має недолік: потемніє продукт, що може змінювати думку споживачів, що необхідно вивчати для кожного типу продукту. Наприклад, надлишок кольору приправлених нагетсів не вплинув негативно на оцінку інших сенсорних характеристик, таких як соковитість, хрусткість, жирність, солоність і смак курки.

Побічні продукти переробки соку цитрусових можна розглядати як потенційні інгредієнти м'ясних продуктів через їх здатність знижувати

залишкові рівні нітритів, таким чином уникаючи можливого утворення нітрозамінів і нітрозамідів. Додавання води для промивання цитрусових волокон не вплинуло на властивості кольору або текстури болонської ковбаси, а її поєднання з ефірною олією розмарину призвело до найкращої сенсорної якості.

Питання для самоконтролю

1. За якими показниками класифікуються м’ясні консерви?
2. З якою метою застосовують функціональні інгредієнти в м'ясоконсервній промисловості?
3. Що таке сухе дозрівання м’яса і умови його реалізації?
4. Що таке сухе затвердіння м’яса, мета і умови його реалізації?
5. Яку нову техніку приготування високоякісних страв називають Sous Vide?
6. З якою метою ферментують м’ясні продукти?
7. З якою метою у м'ясо додають кухонну сіль?
8. Які технологічні заходи необхідно запровадити з метою зниження вмісту солі у м’ясі?
9. Яким чином можливе зменшення вмісту жиру в м’ясних продуктах?
10. Яка позитивна мета досягається шляхом зниження вмісту нітритів?
11. З якою метою рослинні білки використовуються в м’ясних продуктах?
12. З якою метою ферменти використовуються в м’ясних продуктах?
13. Які харчові добавки використовуються у виробництві м’ясних продуктів?
14. Яку роль відіграють ефірні олії, спеції та рослинні екстракти у виробництві м’ясних продуктів?

Рекомендована навчальна література

1. Янчева М., Пешук Л., Дроменко О. Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса і м'ясних продуктів. К.: Центр навчальної літератури, 2017. 304 с.
2. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
3. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.
4. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.

5. Сухенко, Ю. Г. М’ясо-молочне обладнання первинної переробки сировини : практикум : навч. посібник / Ю. Г. Сухенко, В. Ю. Сухенко, М. М. Муштрук ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Ю. Г. Сухенка ; Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ : Компринт, 2015. 386 с.
6. Поперечний, А. М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник / А. М. Поперечний, В. О. Потапов, В. Г. Корнійчук. Донецький національний університет економіки і торгівлі, Харківського державного університету харчування і торгівлі. Київ : ЦУЛ, 2012. 312 с.
7. Процеси і апарати харчових виробництв : приклади і задачі : навч. посібник / І. Ф. Малежик, П. М. Немирович, В. Л. Зав’ялов та ін. ; за ред. І. Ф. Малежика ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2015. 386 с.
8. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
9. Toldrá, F. (ed.). Handbook of meat processing. John Wiley & Sons, 2010. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/mbpcgh
10. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
11. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
12. Технологія м'яса та м'ясних продуктів : дайджест. Вип. 1. [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олаболі. 3-е вид., перероб. та доп. Київ, 2021.18 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://library.nuft.edu.ua/inform/myaso2015.pdf

Розділ 10. ПРОМИСЛОВІСТЬ ШТУЧНОГО М'ЯСА: МЕТОДОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА, ВИКЛИКИ ТА МАЙБУТНЄ

10.1. Аналоги рослинного м’яса

Біотехнологія та харчова наука стали піонерами поняття культивованого м’яса. Звичайне виробництво м’яса стикається з проблемами, пов’язаними з розрізанням, неадекватністю дієти, хворобами харчового походження та виділенням метану, якого культивоване м’ясо ухиляється, але обіцяє текстуру та відчуття справжнього м’яса. Були розроблені технології масового виробництва аналогів рослинного м’яса, продукція з яких вийшла на ринок. Виробництво in vitro на риштуваннях і методи самоорганізації дозволили виготовити дрібномасштабні м’ясні продукти, що пропонують регульоване харчування, хоча для створення культивованого м’ясного каркасу у великих масштабах потрібні більш спеціалізовані пристрої. Перспективні методи, такі як 3D/4D біодрук, біофотоніка та клонування, є актуальними предметами досліджень. Вирощене м’ясо має подолати суспільні та нормативні перешкоди перед комерціалізацією, і, в будь-якому випадку, воно є довгостроковою потребою для людства, хоча висока вартість виробництва та визнання серед людей є основною перешкодою.

Засоби існування та добробут людей залежать від ресурсів: природних, створених людиною чи капіталом. У міру зростання чисельності населення природні ресурси виснажуються швидше, і, хоча існують схеми відновлюваних джерел енергії, дефіцит їжі залишається однією з найскладніших тем. На відміну від рослинності, яку можна відтворити та використати для створення штучних гібридів, виробництво м’яса залежить від бійні, що стосується всіх нас, оскільки тварини відіграють важливу роль в екосистемі. Розробка штучного м’яса може стати найкращою заміною та відновлюваною формою виробництва м’яса, яка стане можливою в майбутньому. Люди були б раді продовжувати споживати м’ясо без прихованого страху чи провини.

Золота рибка та баранина були першими успішно вирощеними видами м’яса, а різні замінники м’яса відтоді вирощувалися за допомогою відповідних технологій. У 2013 році світ побачив перший гамбургер з яловичини, вирощеної в лабораторії; незважаючи на смак, його виробництво коштує понад 330 000 доларів США. Споживання червоного м’яса пов’язане з колоректальним раком, зупинкою серця, серцево-судинними захворюваннями та діабетом через специфічні компоненти.

> **Колоректальний рак** – це пухлинне (злоякісне) захворювання товстого кишківника або прямої кишки. В Україні за один лише 2017 рік на рак товстої та прямої кишки захворіло 17 748 чоловік, при цьому померли від недуги 9 033 людини.

Їх можна виключити або індукувати при нижчих концентраціях, тоді як ті, що приносять користь здоров’ю, можна включити до штучних м’ясних продуктів. Такі продукти також не піддаються впливу пестицидів і бактерій через контрольовані умови, в яких вони виробляються. Світове споживання м’яса може подвоїтися до 2050 року через зростання населення. Однак існує максимум традиційного виробництва м’яса, за межами якого існував би високий попит без будь-яких джерел. Така ситуація підвищить ціни та погіршить глобальний розподіл продовольства. Штучне м’ясо має переваги та бар’єри, які впливають на його перспективи: продукція має бути великомасштабною, охоплювати широку аудиторію, приносити оборот і, як наслідок, прибуток. Крім того, споживачі, швидше за все, купуватимуть нові продукти, схожі на існуючі, без значних змін у своєму досвіді використання; тільки тоді він буде конкурувати з усталеним.

Альтернативи рослинного м’яса доступні на ринку та подолали єдиний бар’єр, тобто прийнятність споживача, оскільки люди довірливо ставляться до продуктів рослинного походження. Однак вони становлять лише невелику частину загального ринку через негативне ставлення до їх смаку та текстури. Хоча ці продукти є серйозною альтернативою, наразі невегани не вважають їх такими. Розробка культивованого м’яса поки що є формальною, і

знадобиться принаймні 10 років, перш ніж вона стане комерційно доступною. Його розвиток потребує значних зобов'язань та інвестицій з боку уряду та промисловості, оскільки знадобляться нові виробничі потужності з кількома неперевіреними технологіями. Хоча це становить значний ризик для інвесторів, споживачі виявляють інтерес до того, щоб продукт став доступним. Процес клонування був проданий і доступний для компаній. Однак ця процедура дорога і, ймовірно, матиме менший успіх, ніж інші штучні форми м'яса.

10.2. Класифікація штучного м'яса

Штучне м'ясо – це широкий термін, який охоплює три основні типи замінників м'яса: замінники м'яса, отримані з рослинних екстрактів і грибів; культивоване (або вирощене в лабораторії або синтетичне м'ясо), вироблене in vitro за допомогою тканинної інженерії або отримане з генетично модифікованих організмів і клонованих тварин за допомогою генної інженерії.

Замінники м'яса на основі ферментації (веганське м'ясо) використовують білки не тваринного походження, отримані з рослин і грибів. Наприклад, соєве борошно має високий вміст поживних речовин, текстуру та смак, подібний до звичайного м'яса. Quorn (виготовлений з грибкового білка) пропонує гамбургери, біфштекс і нарізане м'ясо без холестерину та низьким вмістом насичених жирів.

Тканинна інженерія дає змогу виробляти in vitro шляхом засівання каркасу кількома міоцитами (тобто м'язовими клітинами) і розмноження їх за допомогою клітинної культури: акт сприяння розвитку клітин у штучному середовищі за допомогою хімічних і фізичних стимулів (використовуються для регенерації рослин). Будь-яке джерело клітин може створювати продукти:

1. Первинні клітини, виділені з вихідної тканини або клітинних ліній, розмножуються двома способами: (а) шляхом індукції: навчання клітин

нескінченному розмноженню (генна інженерія або хімічні маніпуляції), та (б) шляхом спонтанних мутацій, у яких клітина демонструє безсмертя

2. Первинні клітини, виділені з нативної тканини.

У той час як м'язові стовбурові клітини привернули найбільшу увагу, інші, такі як мезенхімальні стовбурові клітини (тобто клітини сполучної тканини будь-якого органу), можуть рости в безсироваткових умовах завдяки їх вищій здатності до проліферації.

> **Мезенхімальні стовбурові клітини** – це популяція мультипотентних клітин, здатних диференціюватися в похідні сполучної тканини, а це серце, судини, сполучнотканинний каркас легень, кістки, судини, хрящі, гладкі м'язи та ін. Ці клітини можна отримати, зокрема, з пуповинної крові, пуповини й плаценти.

Хоча ембріональні стовбурові клітини (тобто клітини ембріона на ранній стадії) безперервно розмножуються, їх важче направляти до лінії м'язових клітин. Крім того, доступні джерела первинних клітин людини; однак культивування тканин людини для виробництва м'яса матиме глибокі етичні, медичні та нормативні наслідки. Генна інженерія та біотехнологія дозволяють редагувати геном: складні міжвидові та внутрішньовидові технології заміни алелів (тобто генів) для розробки генетично модифікованих організмів (ГМО). ГМО можна використовувати в їжу, і вони широко використовуються в медицині, дослідженнях і збереженні існуючих характеристик. Декілька випадків ГМО в продуктах харчування включають трансгенних свиней, виробництво сиру, трансгенних корів для виробництва молока та навколишніх свиней для синтезу омега-3 жирних кислот.

10.3. Замінники м'яса, отримані з рослинних джерел

Quorn виготовляється з мікопротеїну, основним компонентом якого є *Fusarium venenatum*, грибок, що зустрічається в ґрунті.

> **Quorn (Куорн)** – замінник м'яса, що має в своєму складі протеїн гриба Fusarium venenatum, що вирощується в промислових масштабах шляхом

ферментації. Вперше куорн було продуковано у Великій Британії, зараз він доступний у 18 країнах.

Гриб ферментують з цукром і центрифугують, щоб отримати тісто, яке використовується в різних продуктах. Quorn може допомогти знизити рівень холестерину в крові та зменшити витрати енергії. Продукти Quorn включають веганські альтернативи котлетам, нагетсам, стейкам, гамбургерам і готовим стравам, таким як лазанья.

Курячий нагетс – це харчовий продукт, що складається з невеликого шматка курячого м'яса без кісток, який панірують або відбивають, а потім обсмажують у фритюрі або запікають.

Порівняно з іншими вегетаріанськими джерелами білка, вони не містять холестерину, мають низький вміст насичених жирів, здоровий профіль жирних кислот і вміст клітковини. Крім того, вміст амінокислот у мікопротеїні подібний до вмісту інших рослинних і тваринних білків.

Соєве м'ясо (також відоме як текстурований рослинний білок) – це соєвий білок із волокнистою консистенцією, подібною до звичайного м'яса. Він містить понад 50% білка і дає високобілкові зерна та інші. Соєві білкові продукти стали популярними завдяки низькій ціні, хорошій харчовій цінності та різноманітності. Є дві важливі сполуки: концентрат соєвого білка та ізолят соєвого білка. З мінімальним рівнем білка 65% на основі сухої маси концентрат соєвого білка є харчовим білковим продуктом, тоді як ізолят соєвого білка має мінімальний вміст білка 90%. Соєве м'ясо виготовляється шляхом змішування соєвого білка з водою при 30°C в екструдері протягом приблизно 3 годин для видалення антипоживних речовин. Матеріал перетирають, нагрівають і денатурують для видалення лушпиння та отримання пухкої твердої речовини, яку пізніше висушують. Щоб створити добре структуровану структуру, температури в технологічній секції зазвичай підтримують відносно високими, близько 70 °C протягом 5–8 год.

Темпе є найбільш визнаною ферментованою їжею з високим вмістом поживних речовин і біоактивних сполук. Темпе виробляють шляхом

замочування та варіння соєвих бобів, до яких пізніше додають гриби. Через 24 години темпе матиме горіховий смак і приємну грибну консистенцію, що дає змогу готувати котлети та інші замінники м'яса. Вміст білка в темпі значно підвищується під час ферментації, що робить його більш засвоюваним, ніж неферментовані соєві боби. Темпе є продуктом змішаного процесу бродіння за участю дріжджів, цвілі, різних мікроорганізмів і грамнегативних бактерій, а також молочної кислоти, хоча домінуючим компонентом є *Rhizopus oligosporus*.

Тофу – це добре відомий замінник м'яса, виготовлений із соєвих бобів, який містить багато поживних речовин, таких як кальцій, залізо та білок. Тофу виготовляється коагуляцією соєвого молока за допомогою $CaSO_4$ або $MgCl_2$ і містить приблизно 8 % білка, 4–5 % ліпідів, 2 % вуглеводів і приблизно 1 % харчових волокон у розрахунку на свіжу вагу. Життєво важливі вітаміни та мінерали можна додати до тофу, щоб він міг забезпечити різноманітні харчові та фізіологічні переваги.

Кінема – це ферментована їжа, яка є лужною та липкою через використання грибка *Bacillus* під час бродіння. У перерахунку на суху вагу кінема має 62% вологи та містить близько 7% золи, 17% жиру, 28% вуглеводів і 48% білка.

Пшеничний глютен (також званий пшеничним м'ясом або *сейтаном*) є популярною заміною м'яса, що складається з глютену, виділеного з пшениці. Сейтан має консистенцію, яку можна порівняти з м'ясом, і використовується у веганських замінниках гамбургерів, сосисок, шніцеля, фаршу та нагетсів. Крім того, у більшості країн пшениця є місцевим зерном, що робить виробництво сейтану можливим у всьому світі. Сейтан готують шляхом доведення вмісту води в суміші пшеничного борошна до 40–80 (мас./мас.%) для активації клейковини, а потім суміш екструдують у листи для видалення крохмалю, залишаючи лише клейковину. Лист розтягується, щоб надати спрямованості структурі волокна протягом усього процесу. Нарешті, при вологості близько 75% і температурі близько 75–120°C вироблені листи сушать шляхом нагрівання. Після сушіння клейковина подрібнюється в порошок для отримання сейтану.

Едамаме (*Edamame*) виготовляють із незрілих соєвих бобів. Перед подачею стручки варять або готують на пару з сіллю та іншими приправами. Едамаме містить 73% води, 12% білка, 9% вуглеводів і 5% жиру, і має 121 калорію на 100 грамів. У ньому багато білка, харчових волокон і мінералів, таких як фолієва кислота, марганець і вітамін К. Едамаме містить 361 мг омега-3 жирних кислот і 1794 мг омега-6 жирних кислот у складі жиру. Зелені стручки сої збирають до того, як вони дозріють (приблизно через 35–40 днів після того, як культура відцвіте), і варять, готують на пару або в мікрохвильовій печі. Перед відварюванням або парою у стручків обрізають кінчики. Сіль додають для аромату, розчиняючи її в киплячій воді перед додаванням соєвих стручків або після варіння. Свіжий едамаме слід споживати в той же день, коли він зібраний, оскільки погіршення смаку може відбутися вже через 10 годин і залишиться в холодильнику протягом 3 днів. Якщо стручки потрібно зберігати свіжими, вони повинні бути вологими, щоб уникнути зміни кольору та в'янення.

Насіння солодкого люпину може стати веганською альтернативою м'ясу. Meatless (продукт Meatless, Нідерланди) складається з люпину або пшениці різних форм, смаків і кольорів. Багато додаткових замінників м'яса, виготовлених із люпину, доступні, але вони не проникли в ключові групи ринку. У Сполучених Штатах рисові бургери та сосиски під назвою risofu (термін, утворений від італійського слова рис, riso та tofu) були натхненні регіоном Шан у Таїланді, де виробляють тофу на основі рису. Risofu поєднує коричневий, дикий і білий рис для отримання максимальної кількості поживних речовин. Комбінація харчових олій, загусників, злаків, рису та водоростей може стати попередником веганських замінників м'яса. Наприклад, німці випускають remis algen. Іншим прикладом є панір або індійський сир, виготовлений з коров'ячого або буйволячого молока, поширений на Індійському субконтиненті та багатий поживними речовинами.

10.4. Інноваційні технології масового виробництва аналогів рослинного м’яса

Термоекструзія

Технології обробки спрямовані на створення альтернатив м’яса на рослинній основі або цільних м’язів із відчуттям справжнього м’яса. Термоекструзія є часто використовуваним методом завдяки його низькій вартості, енергоефективності, адаптивності та чудовій продуктивності. Це основний метод обробки, який використовується для перетворення рослинних білків у структуровані фібрили для подальших замінників м’яса.

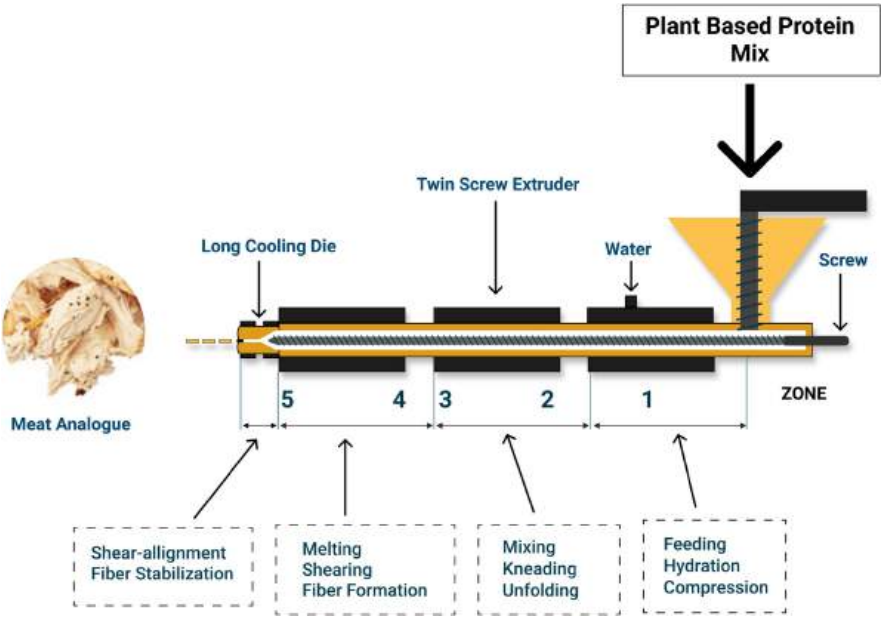


Рис. 28. Термоекструзійна обробка альтернативного м'яса [25]

Термоекструзія може бути низько-, середньо- та високовологою. Термоекструзія (рис. 28) є багатоцільовою процедурою, яка включає розширення, формування, нагрівання, деаерацію, гомогенізацію, стиснення, зсув, гідратацію та змішування. При підвищених температурах (140–

180 °C) і від середньої до високої концентрації вологи (40–80%) екструзія здійснюється через складний процес зсуву шляхом текстурування білка та подальшого формування волокнистих структур. Ці обставини дозволяють точно контролювати розширення продукту та гелеутворення білка, форму тіста, емульгування жиру та реструктуризацію частинок. Процес екструзії призводить до мікрокоагуляції та фібриляції білкових компонентів.

Високотемпературна комірка конічного зсуву

Високотемпературна конічна комірка зсуву є пристроєм типу «конус у конусі» з рухомим базовим конусом. Простір між двома конусами герметично закритий, щоб пара не виходила під час нагрівання з температурою від 95 до 140°C. Метод виробляє фібрили шляхом поєднання білків гороху–пшеничної клейковини та соєвого білка–пшеничної клейковини. Суміш безперервно нагрівають протягом 15 хв, а потім охолоджують до 25 °C. Продукти зберігаються при кімнатній температурі принаймні 1 годину для створення структурно стабільних волокон у поліетиленовому пакеті. Соєві протеїнові суміші, оброблені при 110 °C і 120 °C, мають механічну міцність, еквівалентну курячому м’ясу, тоді як горохові білкові суміші при 140°C мають порівнянну міцність із соєвими білковими сумішами.

10.5. Виробництво культивованого м'яса

Ця тема становить інтерес для інженерів, оскільки виробництво культивованого м’яса є практичним застосуванням тканинної та генної інженерії з меншими технологічними труднощами, ніж багато клінічних застосувань.

> **Культивоване м'ясо або штучне м'ясо** – це м'ясо, що вирощується в лабораторних умовах у вигляді культури клітин, яке ніколи не було частиною живого тваринного організму.

Скелетна м'язова тканина становить більшу частину їстівного м'яса тварин. Використання методів інженерії скелетної м’язової тканини для отримання

їстівного м’яса налічує десятиліття, хоча мало хто серйозно досліджував це. Виробничі підходи in vitro можна загалом класифікувати на стратегії, засновані на каркасі, і стратегії самоорганізації. Проліферація міобластів (тобто скелетних стовбурових клітин), посів їх на каркас або носії, такі як колагенова сітка, а потім перфузія їх культуральним середовищем у фіксованому або обертовому біореакторі є частиною техніки, заснованої на каркасі.

> **Перфузія** – метод підведення та пропускання крові, кровозамінних розчинів і біологічно активних речовин через судинну систему органів і тканин організму. Крім цього, перфузією називають кровопостачання органів у природних умовах.

Під впливом різних подразників навколишнього середовища ці клітини зливаються в м’язові трубки і згодом диференціюються в м’язові волокна. Міоволокна, які утворюються в результаті цього процесу, можна згодом готувати та їсти як м’ясо. Техніка, заснована на каркасі, може підійти для страв без кісток, таких як гамбургери або сосиски; однак це несумісне з виробництвом м’яса з чіткими сортами, наприклад стейків. М'ясо генетично модифікованих організмів і клонованих тварин також кваліфікується як культивоване м'ясо. Генетично модифіковані організми змінюють гени за допомогою генної інженерії, щоб вони містили ДНК іншого організму. Ця техніка широко використовується для створення культур, модифікованих таким чином, щоб вони були більш вигідними порівняно з аналогами. Клонування тварин – це складний процес отримання видів із точними генетичними ознаками батьків. Дотепер овець, свиней, кіз, великої рогатої худоби та кроликів клонували, але ніколи не споживали.

10.6. Технології виробництва м'яса in vitro. Техніка риштування

Відокремлення ембріональних міобластів від сільськогосподарських тварин, таких як велика рогата худоба, вівці та свині, і надання їм можливості розвиватися в стаціонарному або обертовому біореакторі з використанням середовища росту рослинного походження, буде необхідним для системи

виробництва м’яса in vitro на основі каркаса. Ці клітини ділилися б і переділялися протягом тижнів або місяців, зрештою перетворюючись на м’язові волокна на каркасі всередині біореактора. Великомасштабний біореактор, здатний масово вирощувати м’ясо, ще не спроектований і побудований. Створення м’язів вимагає використання системи кровообігу для забезпечення поживними речовинами та киснем зростаючих клітин або волокон, одночасно усуваючи метаболічні відходи. Незважаючи на те, що крихітні шматочки м’язів отримують достатню кількість поживних речовин і кисню шляхом дифузії, культивовані м’язи з вбудованими кровоносними артеріями для постачання киснем і живленням не були розроблені. Хоча кілька методів культивування клітин вже доступні, найскладнішим кроком у виробництві м’яса in vitro є визначення оптимального складу культурального середовища. Середовище має бути недорогим, виготовленим повністю з харчових компонентів, широкодоступним у великих кількостях і ефективним у підтримці та стимулюванні розвитку, проліферації та диференціювання м’язових клітин.

10.7. Культуральні середовища та фактори росту

Культурне середовище має підтримувати та заохочувати розвиток, будучи легкодоступним, недорогим та їстівним. Середовища з такими поживними речовинами, як амінокислоти, жирні кислоти, вітаміни, мікроелементи та позаклітинні везикули, необхідні для росту клітин. Поряд із комбінацією антибіотиків/антимітотиків певні культури потребують екстракту ембріона. М’язові клітини є основним джерелом інсуліноподібного фактору росту 1 і необхідні для виробництва м’яса in vitro. Вчені часто збільшують диференціювання та злиття міобластів шляхом зниження рівня мітогенного фактору росту. Проліферуючі клітини згодом починають генерувати інсуліноподібний фактор росту 2, який викликає диференціацію та утворення м’язових трубок. Хоча певна частка факторів росту, інгібіторів і метаболічних сповільнювачів задіяна, часто незрозуміло, які компоненти сироватки головним

чином відповідають за ріст клітин. Подібно до культурального середовища, композиція каркаса пов'язана з виробництвом м'яса in vitro. Було протестовано численні біоматеріали, як синтетичні, так і тваринного походження. Оскільки каркас тваринного походження, подібно до колагену, точно відповідає вихідному мікросередовищу in vivo, диференційовані міобласти вирішують вирівнювати, стискати та формувати м'язове волокно. Найуспішніші спроби отримати м'ясо in vitro використовували каркаси на основі колагену, тоді як зусилля із застосування синтетичних біоматеріалів стикалися з труднощами у скороченні тканини.

10.8. Біореактор

Важливість компонування біореактора для регенерації тканин обговорювалася раніше. Широко використовуються статичні біореактори, які передбачають посів клітин на каркас з подальшим додаванням відповідних середовищ для росту та культивуванням в інкубаторі. Для виробництва м'яса in vitro знадобиться розробка нових біореакторів, здатних стимулювати ріст тканин і підтримувати низький зсув і рівномірну перфузію при великих обсягах. Американська компанія Good Meat заявила, що побудує десять біореакторів для культивування м'яса. Кожен з них вирощуватиме понад 13 тисяч тонн курятини та яловичини на рік. Виробництво забезпечить десятки тисяч магазинів та ресторанів. Обертові біореактори широко використовуються в інженерних дослідженнях тканин скелетних м'язів. Біопроцес ділиться на чотири етапи: розмноження клітин, диференціювання клітин, виробництво продукту та валоризація відходів. Складність середовища, в якому м'язові клітини проліферують і диференціюються, відрізняє біообробку м'яса in vitro від існуючих біопроцесів. Біореактор із обертовою стінкою посудини обертається зі швидкістю, яка врівноважує відцентрову силу, силу опору та силу тяжіння, і занурює тривимірну культуру в середовище, сприяючи розвитку тканини зі структурою, порівнянною з тією, що знаходиться in vivo. Біомеханічні сили допомагають створити ламінарний потік середовища, що покращує дифузію та

забезпечує високу швидкість масопередачі з низьким рівнем напруги зсуву. Біореактори прямої перфузії є ще одним типом, який краще підходить для культивування на каркасі. Середовище в цьому сценарії проходить через пористий каркас, а газообмін відбувається в зовнішньому рідинному контурі. Цей тип біореактора має високу швидкість масообміну та значно низьку напругу зсуву.

10.9. Техніка самоорганізації

Більш амбітний метод виробництва високоструктурованого м'яса in vitro полягає у використанні експлантованої м'язової тканини тварини. Це включає створення самоорганізованої м'язової тканини або проліферацію наявної м'язової тканини in vitro. Було досліджено, чи можуть гомологічні дорослі клітини м'язової тканини зв'язуватися та рости на субстраті. Шматочки тканини золотої рибки подрібнювали і центрифугували для отримання гранул, поміщали в чашки Петрі з поживною сумішшю і культивували протягом 7 днів. Вивчено низку середовищ для вирощування (включаючи фетальну сироватку великої рогатої худоби, екстракт рибного борошна та кілька екстрактів грибів), щоб зрозуміти, як кожне з них сприяє розвитку м'язової тканини експланта, і визначити можливі замінники фетальної бичачої сироватки.

Експлант - група клітин, вирощена окремо чи відокремлена від материнського організму.

Через 2 тижні культивування 81% з 48 культур виявили адгезію тканини до культуральної судини, 63% показали самовідновлення, а 74% продемонстрували клітинну проліферацію. Коли в якості живильного середовища використовувалася фетальна сироватка великої рогатої худоби, експлантована тканина зросла приблизно на 14% і більш ніж на 13%, якщо використовувався екстракт гриба майтаке. Через тиждень у культурі, що містить клітини скелетних м'язів золотої рибки, площа поверхні експлантів збільшилася на 79%. Експлантати та новоутворена тканина нагадували філе свіжої риби, їх маринували в оливковій олії та часнику та смажили у фритюрі перед тим, як

передати сенсорній панелі для оцінки. Сенсорна панель повідомила, що експланти та нововирощена тканина виглядають і пахнуть їстівними.

В інших дослідах відтворювали ізоляцію та проліферацію м'язових клітин свиней. М'язи розрізали на дрібні шматочки, центрифугували для ізоляції клітин і отримання гранул, які поміщали в чашки Петрі для проліферації з використанням середовища росту фетальної бичачої сироватки та пеніциліну-стрептоміцину та середовища диференціації кінської сироватки. Оцінка проліферації показує приблизно 70% проліферації за тиждень. Були зібрані клітини скелетних м'язів кози та проліферовані до 80%, використовуючи середовище для росту фетальної сироватки великої рогатої худоби та середовище диференціювання сироватки коня. Встановлено ефективність фетальної сироватки великої рогатої худоби та сироватки коня у проліферуючих м'язових клітинах. Потрібні дослідження для встановлення протоколів використання реагентів проти різних м'язових клітин тварин для виробництва м'яса in vitro за допомогою техніки самоорганізації.

10.10. 3D/4D орган або біодрук, біофотоніка і нанотехнології

3D/4D орган або біодрук

Тривимірний (3D) або чотиривимірний (4D) орган або біодрук базується на звичайних принципах друку. Для створення прототипу біопродукту використовується програмне забезпечення автоматизованого проектування (САПР). Клітини розпилюють на гелі і під час культивування клітини зливаються з утворенням біопродукту, який може мати базову клітинну структуру та васкуляризацію для доставки крові. 3D-біодрук є одним із найефективніших і привабливих методів створення функціонально та анатомічно ідентичних органів або тканин для регенерації тканин і терапевтичних застосувань органів. Він точно поміщає біоматеріали та різні типи клітин в єдину 3D-архітектуру тканини. 4D-друк, який використовує аналогічну технологію, розширює 3D-друк і додає ще один вимір змін з часом.

Цільові органи або тканини чутливі до вологості та температури, і ця техніка використовується для відновлення м'язів, кісток і серцево-судинних тканин.

Біофотоніка

Біофотоніка – це новий процес, який використовує лазерне світло для зв'язування частинок. Він виробляє «оптичну матерію» у формі бажаних структур, у яких матеріал може бути відкладений і утримуватись разом, доки світло не буде видалено. Утримуваний матеріал може комбінуватися, утворюючи нову тверду структуру. Механіка цієї надзвичайної властивості світла ще недостатньо вивчена. Нова технологія може виробляти м'ясо, якщо м'язові клітини можуть зливатися, і може легко прищепити такі функції, як жир, порівняно з іншими методами. Біофотоніка може стати альтернативою для утримання клітин замість використання звичайних методів каркасу. На сьогодні за допомогою біофотоніки створено еритроцити та яєчники хом'яка.

Нанотехнології

Нанотехнологія спрямована на розробку робота розміром із молекулу, здатного маніпулювати матерією на атомному рівні, який може створювати майже будь-який матеріал із самого початку, точно збираючи молекули. Це може стосуватися виробництва м'яса, хоча на той час це фінансово та технологічно неможливо. Нанотехнології можуть зберегти м'ясо без зменшення поживних речовин і продовжити термін зберігання. Щоб покращити чоловічу фертильність, селективне розведення може бути досягнуто шляхом виділення життєздатних сперматозоїдів за допомогою магнітної наноселекції, застосування якої може поширюватися на тварин. Нанопристрої у поєднанні з антимікробними частинками можуть відстежувати справжність, термін придатності м'ясних продуктів і псування м'яса, а також забезпечувати безпечні стандарти. Нанотехнології пропонують великий потенціал, і майбутні спроби виробництва м'яса повинні будуть подолати обмеження поточних підходів

шляхом розробки їстівних і недорогих культивованих клітин, скелетів, культуральних середовищ і гормонів росту.

10.11. Генетично модифіковані організми та клоновані тварини

Генетично модифіковані організми можна вважати третім класом штучного м'яса. Незважаючи на їхню схожість, тварин, геном яких навмисно змінено в лабораторії, слід вважати штучними. Клоновані тварини - це четвертий клас штучного м'яса. Клонування – це лише науково обґрунтований підхід до отримання ідентичних нащадків. Оскільки це штучна процедура, м’ясо може вважатися штучним. Генетична модифікація тварин обговорювалася раніше і вона може пом’якшити екологічний вплив звичайного виробництва м’яса. Незважаючи на те, що це теоретично можливо і було перевірено, жодна генетично модифікована тварина не була дозволена для споживання людиною. Клонування тварин дозволяє поширювати існуючу генетику, збільшуючи кількість тварин із певним генотипом і скорочуючи викиди вуглецю. Клонування тварин із хорошою генетикою може доповнювати інші стратегії, наприклад генетичні маніпуляції, але може мати певні негативні наслідки, пов’язані зі збереженням тварин. Однак процес клонування не позбавлений дефектів, з деякими набутими деформаціями, такими як синдром великого/ненормального потомства та смерті незрілих дітей, безпосередньо спричинені технологією клонування. Колосальною проблемою промислового впровадження ГМО є їх ліцензування. Хоча приборкання генетично модифікованих тварин було предметом останніх досліджень, ця ідея була сприйнята вороже і досі не схвалена. Такі перешкоди негативно впливають на віддачу від інвестицій, хоча для вирощування генетично модифікованої худоби не потрібні значні інвестиції в інфраструктуру. Значні витрати пов’язані з поширенням продукту серед населення.

10.12. Харчова цінність

Щоб конкурувати на ринку, будь-який м’ясний продукт in vitro повинен принаймні відповідати поживним показникам звичайного м’яса. Поряд з високим вмістом білка і повноцінним амінокислотним складом, звичайне м'ясо має ряд додаткових корисних елементів, включаючи вітаміни, мінерали і біоактивні речовини.

Середовище для росту повинно бути забезпечене поживними речовинами, які не виробляються м'язовими клітинами. Наприклад, вітамін B12 виробляється виключно певними бактеріями, що колонізують кишечник, і міститься виключно в звичайному м’ясі. Щоб бути присутнім у м’ясному продукті in vitro, вітамін B_{12}, створений комерційно, повинен бути забезпечений. Залізо міститься у великій кількості в звичайному м’ясі у формі гему, який присутній у міоглобіні та гемоглобіні.

Іони заліза, пов’язані з трансферином (білком плазми крові), ймовірно, потрібно буде додати до культурального середовища, щоб забезпечити залізо в доступній формі для мітохондрій м’язової клітини, яке буде включено в гем, що призведе до синтезу міоглобіну. Однак потрібно контролювати рівні трансферину, щоб уникнути надмірної кількості вільного феруму або іонів двовалентного заліза, що сприяє утворенню шкідливих активних форм кисню.

Концентрації міоглобіну в м’язових клітинах слід підтримувати на низькому рівні, доки не буде створено значну популяцію м’язових трубочок, що також може допомогти в розрахунку оптимального часу росту, необхідного перед збиранням м’яса in vitro.

10.13. Виробничі витрати та розмір ринку. Регуляторні шляхи та перспективи

Порівняно з гамбургером з яловичини вартістю 1 долар, який можна приготувати миттєво, перший гамбургер in vitro в 2013 році коштував понад 300

000 доларів і розроблявся 2 роки. З тих пір виробничі технології значно розвинулися, щоб зменшити витрати та комерціалізувати в майбутньому.

Орієнтовний глобальний ринок культивованого м’яса становитиме 214 мільйонів доларів до 2025 року та 593 мільйони доларів до 2032 року, підприємці активно засновують стартапи. Однак на його ринку не вистачає рослинних аналогів, вартість яких у 2018 році оцінювалася в 4,6 мільярда доларів, а у 2030 році – у 85 мільярдів доларів. Група учасників запитали про свою готовність замінити у своєму раціоні звичайне м’ясо культивованим м’ясом, і 64,6% учасників були готові спробувати культивоване м’ясо, 49,1% – регулярно купувати його, а 48,5% – замінити звичайне м’ясо у своєму раціоні. Однак це дослідження суперечить іншій групі учасників досліджень, де більшість не бажали купувати вирощене м’ясо. Подібним чином дослідження показали позитивні результати, тоді як учасники інших досліджень були менш оптимістичними. Дослідження проводилися в різних країнах з учасниками з різних культур і походження. Якщо об’єднати ці та інші подібні дослідження, то з’ясовується ключ до збільшення обсягу ринку культивованого м’яса. Прийняття культивованого м’яса буде різним залежно від культури, статі та, що найважливіше, має залежати від обізнаності людей. Піонери культивованого м’яса повинні зосередитися на обміні інформацією та зміцненні довіри споживачів.

Шляхи регулювання харчових продуктів забезпечують безпеку для споживачів, а культивовані м’ясні продукти, ймовірно, будуть урегульовані як нові харчові продукти. Після прийняття нормативні документи стосуватимуться багатьох організацій, у тому числі тваринництва, навколишнього середовища, продуктів харчування та місцевих органів влади. Використання слова «м'ясо» обговорюється; існує переконання, що це слово походить від реальної тварини, а використання слова для лабораторних технологій є неправильним і викликає плутанину. Якщо так, чи варто культивоване м’ясо називати «м’ясом»? Якщо ні, то як його назвати, щоб не дистанціюватися від звичайного м'яса? Відповідь, ймовірно, буде різною для різних країн та інтересів! Потенційне шахрайство з

харчовими продуктами: спроби продати вирощене м’ясо як звичайне м’ясо і навпаки можуть призвести до багатьох регуляторних проблем. Крім того, можливість неправильного маркування продуктів і виробництва м’яса не тваринницьких видів (людини, небезпечні тварини, комахи тощо) може призвести до серйозних проблем зі здоров’ям, оскільки дослідження повідомляють, що споживання ракових клітинних ліній in vitro може переносити ДНК. Вирощене м’ясо є об’єктом наукової невизначеності: воно може мати як позитивні, так і негативні наслідки. Небезпека культивованого м'яса бути потенційно токсичним і мати незворотні наслідки впливає на його ринок. Навпаки, затримка комерціалізації також викликала б сумніви. Технології також не вистачає протоколу для вибору правильного типу клітин, і наразі вона покладається лише на стовбурові клітини або клітини-попередники для виробництва м’яса. Наразі нормативно-правова база є нечіткою та знаходиться на стадії розробки. Перш ніж культивоване м’ясо потрапить на ринок, потрібні різні нормативні дозволи, підтверджені дослідженнями.

Незважаючи на те, що штучне м’ясо має суттєві переваги перед звичайним м’ясом, існує кілька невизначеностей щодо його прийнятності, вартості виробництва та сприйняття суспільством. Крім того, популярні технології виробництва культивованого м'яса мають недоліки, які перешкоджають їх використанню в конкретних цілях. На відміну від звичайного, штучне безбарвне. Споживачі не оцінюють цієї значної невідповідності. Можна додавати природні барвники, такі як цукровий буряк або шафран, а включення гему, присутнього в білках міоглобіну та гемоглобіну, може додати поживну цінність і також надати червоного кольору культурному м’ясу, роблячи його схожим на червоне м’ясо. Ще один недолік – відсутність текстури. Трансглутаміназа може покращити текстуру, хоча вона встановлює дивні хімічні зв’язки та створює нетрадиційні амінокислоти. Однак ці сполуки можуть не засвоюватися і становити загрозу здоров’ю людини. Таким чином, необхідні додаткові дослідження для з’ясування участі трансглутамінази в штучному м’ясі.

Витрати на виробництво залишаються високими, особливо сироватки з крові тварин, яка потрібна для посилення розвитку клітин in vitro. Досі всі випробування м’яса in vitro проводилися на основі невеликого виробництва м’яса; витрати енергії в лабораторіях значно знижуються при використанні крихітного біореактора. Однак незрозуміло, як великомасштабне виробництво може вплинути на ціни кінцевих продуктів і час виходу на ринок. Наразі є оцінка ринкової ціни на високоякісне м’ясо in vitro як мінімум 50 доларів США/кг, тоді як великомасштабні серійні процеси з використанням недорогих середовищ можуть забезпечити м’ясо менше 25 доларів США/кг.

Тваринництво відповідає за значну частку викидів парникових газів. Потенційною перевагою культивованого м’яса є його допомога у зменшенні викидів метану. Вирощування великої рогатої худоби виділяє метан, вуглекислий газ і оксид азоту, тоді як in vitro м’ясо виділяє вуглекислий газ переважно завдяки використанню викопної енергії. Однак окремі вчені стверджують, що глобальне потепління може спочатку зменшитися, але не довгостроково, оскільки вуглекислий газ залишається в атмосфері. М’ясо in vitro потребуватиме менше землі, ніж звичайне виробництво м’яса, хоча це не буде вигідним, оскільки худоба має важливе значення для підтримки родючості ґрунту. Проте потреби в енергетичних ресурсах (електроенергії, викопному паливі тощо) зростатимуть при великомасштабному виробництві. Таким чином, необхідно розробити технології виробництва з використанням природних енергетичних ресурсів, таких як сонячна, вітрова, гідротермальна, геотермальна, біопаливо та енергія припливів і відливів, замінивши попередні підходи. Оскільки культивоване м'ясо є технічним продуктом, не можна вважати, що нинішній покупець вважає його натуральним, і це, ймовірно, найбільш суттєвий недолік. Інші проблеми включають небезпеку споживання неперевірених матеріалів, можливість неправильного використання технологічних досягнень для культивування м’язової тканини людини, що призводить до канібалізму без жертв, недооцінку людьми культивованого м’яса, огиду до культивованого м’яса (фактор «фу») та багато іншого.

Незважаючи на те, що були розроблені методи масового виробництва рослинних аналогів м'яса, м'ясо in vitro нееквівалентне звичайному м'ясу без схожої текстури, смаку та поживної цінності. Наразі продукт не відповідає очікуванням споживачів, що робить питання про масове виробництво предметом обговорення в майбутньому. Таким чином, індустрія виробництва м'яса in vitro знаходиться в зародковому стані, що вимагає оптимізації процедур шляхом обширних досліджень і проблем, пов'язаних із вартістю, сприйняттям, поживністю, смаком, текстурою, енергоспоживанням, впливом на навколишнє середовище та доступністю, перш ніж масове виробництво стане масовим. реальність. Суспільні виклики, пов'язані з культивованим м'ясом, здебільшого пов'язані з етикою та прийнятністю для споживачів. Проте вони недостатньо широкі для дослідження політики, яка принесе користь суспільству та подолає справжні проблеми та бар'єри. Академічна етична література містить переконливі аргументи на користь культивованого м'яса, особливо коли використовується філософський підхід. Як правило, вони зосереджені на перевагах успішної системи вирощування м'яса для навколишнього середовища та добробуту тварин. Хоча одні кажуть, що приготування культивованого м'яса є моральним обов'язком, інші припускають, що вегетаріанство може бути кращим. Негативні перспективи припускають, що культивоване м'ясо увічнює нинішню фетишизацію м'яса, і через його високу вартість може призвести до того, що еліта м'ясоїдів, яка не відчуває провини, працює за рахунок бідних. Інші висловлювали занепокоєння щодо цього поняття в цілому, стверджуючи, що використання біотехнології для вирішення етичних труднощів завдає шкоди, і що культивоване м'ясо є жахливою ілюстрацією деконтекстуалізації та молекулярнизації життєздатності.

Другою важливою сферою дослідження було сприйняття населенням культурного м'яса. Іноді деякі обмежують це питанням прийнятності споживача. Однак це питання має бути сформульоване узагальнено, щоб включити більше політичних та особистих думок, двозначності та несприятливих наслідків суспільних розгалужень культивованого м'яса. Існуючі дослідження ставлення

до культивованого м’яса використовують кілька підходів, але всі вони погоджуються в одному: вони виявляють спектр точок зору, починаючи від дуже сприятливих до дуже ворожих, з багатьма між ними. Відповідно до аналізу соціальних мереж і коментарів до новин про культивоване м’ясо, удавана неприродність культивованого м’яса може бути джерелом розбіжностей. Хоча ці питання етики та прийнятності для споживачів є критично важливими, також важливо розширити розуміння культивованого м’яса, включивши пов’язані з ним політичні, соціальні та інституційні наслідки. Ці занепокоєння доповнюють одне одного, і їх необхідно розглядати одночасно. Численні аргументи на користь культивованого м’яса та інших протеїнів-замінників підкреслюють їхню здатність руйнувати та пом’якшувати несприятливі наслідки традиційного тваринництва. Однак досі культивоване м’ясо існувало лише в припущеннях, а не в реальних матеріальних формах. Невідомо, як виглядатиме майбутнє культивованого м’яса, які ресурси знадобляться, а також їхні екологічні та етичні сліди.

Технології штучного м’яса розвиваються шаленими темпами, щоб підвищити очікування клієнтів щодо здоров’я, екологічної стійкості та добробуту тварин. Виробництво дрібномасштабних культивованих м’ясних продуктів їстівної якості має незабаром стати можливим, хоча великомасштабне виробництво все ще здається складним і, ймовірно, займе час, навіть якщо це можливо. Виробництво культивованого м’яса за допомогою штучного інтелекту, здається, є однією з потенційних відповідей. Зі зростанням попиту на м’ясо через традиційне виробництво м’яса неможливо усунути дисбаланс попиту та пропозиції. Виробництво культивованого м’яса має бути спрямоване на забезпечення покупців екологічно чистим м’ясом, нешкідливим до хвороб. На даний момент єдині загальнодоступні для покупців продукти - це замінники м'яса з рослинних білків. Хоча традиційне виробництво м’яса із залученням тварин навряд чи буде припинено, цей сектор зіткнеться зі складним комерційним і регуляторним кліматом, що призведе до змін у всій галузі. Незважаючи на нинішню високу ціну, витрати на виробництво культивованого

м’яса, швидше за все, скоро впадуть. Реклама, орієнтована на продукт, буде більш успішною в залученні споживачів до цього унікального продукту, ніж підкреслення переваг процесу виробництва. Однак культивоване м’ясо не буде конкурувати з альтернативними замінниками м’яса, такими як продукти рослинного походження, які зараз є на ринку, і має нижчий рівень сприйняття споживачами. Цей унікальний продукт має значні перешкоди попереду, з суспільною прийнятністю та витратами виробництва на передньому плані, перш ніж стати комерційною реальністю. Численні технології ще не придатні для комерційного використання та борються з регуляторними законами. Незважаючи на те, що культивоване м’ясо приваблює активістів захисту прав тварин, кілька тварин все одно потрібно вбити, щоб зібрати їхні клітини. Потрібні широкі дослідження, підтримка та інвестиції з боку державних органів влади та промисловості, щоб перевести штучне м’ясо у великомасштабну промисловість і замінити звичайне виробництво м’яса.

Питання для самоконтролю

1. Що таке аналоги рослинного м’яса?
2. Які показники покладено в основу класифікації штучного м'яса?
3. Які замінники використовують для штучного м’яса?
4. Які інноваційні технології масового виробництва аналогів рослинного м’яса запроваджені у харчовій промисловості?
5. Що таке культивоване м'ясо і як його виробляють на практиці?
6. Що таке культурне середовище?
7. Як використовується експлантована м’язова тканина тварин для виробництва високоструктурованого штучного м’яса?
8. Що таке біофотоніка і як вона використовується у виробництві штучного м’яса?
9. З якою метою у виробництві штучного м’яса застосовують нанотехнології?
10. Що собою представляють генетично модифіковані організми та клоновані тварини?
11. Яким чином визначається харчова цінність штучного м’яса?
12. За якими показниками штучне м'ясо відрізняється від натурального?

Рекомендована навчальна література

1. Янчева М., Пешук Л., Дроменко О. Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса і м'ясних продуктів. К.: Центр навчальної літератури, 2017. 304 с.
2. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
3. Технологія м'ясопродуктів із нетрадиційної м'ясної сировини : підручник / Л. В. Пешук, М. О. Янчева, О. І. Гащук, С. Г. Кириченко ; Нац. ун-т харч. технол., Харк. держ. ун-т харч. та торг. Київ : ЦУЛ, 2017. 300 с.
4. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.
5. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.
6. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
7. Пешук, Л. В. Технологія переробки вторинних продуктів м'ясної галузі : підручник / Л. В. Пешук ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : ЦУЛ, 2018. 366 с.
8. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
9. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
10. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
11. Технологія м'яса та м'ясних продуктів : дайджест. Вип. 1. [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олаводі. 3-е вид., перероб. та доп. Київ, 2021.18 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://library.nuft.edu.ua/inform/myaso2015.pdf
12. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олаводі] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

Розділ 11. ІННОВАЦІЇ В ПАКУВАННІ М'ЯСА ТА М'ЯСОПРОДУКТІВ

11.1. Методи пакування та пакувальні матеріали

Цей розділ має на меті систематизувати знання про інноваційні рішення для розуміння складу пакувальних матеріалів та біоактивних речовин, які використовуються в процесах пакування м’яса та м’ясних продуктів, враховуючи сучасні тенденції та очікування споживачів. У їстівній упаковці застосування природних і відновлюваних біополімерів набуває популярності, оскільки, на відміну від пластикових пакувальних матеріалів на основі нафти, вони не спричиняють екологічних проблем. Упаковка з використанням активних сполук додатково подовжує термін придатності харчових продуктів порівняно з традиційною упаковкою, зменшуючи несприятливі ефекти під час зберігання, такі як окислення, розвиток мікробів і втрата вологи. З іншого боку, включення природних біоактивних речовин в упаковку дає можливість збільшити термін придатності харчових продуктів або зменшити використання консервантів. Цей напрямок відкриває широке поле для досліджень завдяки численності речовин, їх дії та властивостей упакованого продукту.

Пластик на основі нафти є одним із найбільш часто використовуваних пакувальних матеріалів завдяки своїй жорсткості, гнучкості, бажаним бар’єрним властивостям, малокоштовності та простоті обробки. В якості звичайних пакувальних матеріалів для м'яса або м'ясних продуктів використовуються синтетичні матеріали у формі фольги, часто в поєднанні, наприклад, із зовнішньою картонною упаковкою. Найбільш часто використовувані синтетичні пластики для упаковки м’яса включають: поліетилен (PE), поліпропілен (PP), полівінілхлорид (PVC), поліестер (PET), поліамід (PA), полівініліденхлорид (PVDC) і етиленвініловий спирт. Однак масове використання таких матеріалів призвело до серйозних екологічних проблем, таких як виснаження природних ресурсів, забруднення сміттям і глобальне потепління, оскільки вони є невідновлюваними та нерозкладними. Тому зусилля вчених та у промисловості

були спрямовані на стійкі стратегії шляхом розробки інновацій у сфері пакувальних матеріалів і методів пакування. Очікуваною властивістю нових пакувальних матеріалів є те, що вони придатні для повторного використання, вторинної переробки або біологічного розкладання після того, як вони відслужили своє призначення. Тому харчова промисловість шукає екологічно чисту заміну пластику, що не піддається біологічному розкладанню, пластиком, що біологічно розкладається.

Активне пакування (АР) – це новий метод пакування, який використовує різні активні сполуки, такі як антиоксиданти, протимікробні засоби, поглиначі вологи, поглиначі газу та поглиначі ультрафіолету. Ці активні компоненти взаємодіють з упакованим харчовим продуктом або навколишнім середовищем, подовжуючи термін його застосування, зберігаючи якість, безпеку та цілісність їжі. У порівнянні з традиційною упаковкою, упаковка з використанням активних сполук додатково подовжує термін придатності харчових продуктів за рахунок зменшення шкідливих впливів під час зберігання, таких як окислення, розвиток мікробів і втрата вологи.

Останнім часом був досягнутий величезний прогрес у створенні систем активного пакування з використанням різних методів, таких як нанесення покриття зануренням, пошарове складання, електроформування, лиття з розчинника, екструзія, та гомогенне емульгування. Технології АР можуть базуватися на синтетичних або природних матеріалах, і деякі з них містять активні інгредієнти, такі як антиоксиданти, антимікробні речовини, вітаміни, ароматизатори та барвники. У їстівній упаковці використання природних і відновлюваних біополімерів набуває популярності, оскільки вони, на відміну від пластикових пакувальних матеріалів на основі нафти, не викликають екологічних проблем. У їстівних плівках повинні бути присутніми речовини, які відповідають нормам харчових продуктів, ці плівки повинні бути економічними, простими в нанесенні та екологічно чистими. Їстівні плівки класифікуються на основі їх структурного матеріалу, а саме гідроколоїдів (полісахаридів і білків), ліпідів і композитів. Обмеженням для їстівної упаковки є ризик її забруднення

та, таким чином, перетворення в неїстівну. Незважаючи на це, якщо їстівну упаковку не вживати в їжу, вона за своєю суттю біологічно розкладається. Нові пакувальні матеріали забезпечують більшу функціональність упаковки, подовжуючи термін придатності та забезпечуючи більш високу якість і безпеку фасованого м'яса. В даний час багато нових АР матеріалів викликають величезний інтерес у харчовій промисловості. Активне пакування може пригнічувати ріст мікроорганізмів на поверхні харчового продукту, покращувати його харчові та сенсорні властивості, збільшувати термін придатності деяких харчових продуктів і зменшувати вплив упаковки на навколишнє середовище. Як новий метод, інноваційне пакування не тільки продовжує якість і термін придатності харчового продукту, але й контролює його якість під час транспортування та зберігання. Останнім часом АР та інтелектуальне пакування були прийняті для забезпечення відстеження, безпеки та якості харчових продуктів. Основним завданням інтелектуальної упаковки є фіксація та надання інформації про зміни якості упакованих товарів під час транспортування та зберігання. Вони надають інформацію про стан упакованого продукту, не впливаючи на його якість.

На відміну від традиційної харчової упаковки, функціональні системи упаковки, які розроблені для завантаження різних біологічно активних сполук у матричні матеріали, можуть призводити до широких біологічних ефектів, таких як антибактеріальний та антиоксидантний ефекти, і таким чином захищати харчові продукти від шкідливих факторів навколишнього середовища. Активні пакети розробляються шляхом вбудовування біоактивного матеріалу рослинного походження в полімер. Ефірні олії знаходяться в центрі уваги як активні інгредієнти завдяки своїм антимікробним і антиоксидантним властивостям.

Цей розділ мав на меті систематизувати знання про інноваційні рішення для розуміння складу пакувальних матеріалів та біоактивних речовин, які використовуються в упаковці м'яса та м'ясних продуктів, враховуючи сучасні тенденції та очікування споживачів. Це має допомогти продемонструвати

позитивний ефект використання інноваційних методів у пакуванні м'яса та продуктів з нього.

11.2. Природні полімери в харчовій упаковці

Екологічні проблеми, спричинені звичайними полімерами, викликали необхідність пошуку альтернативних пакувальних матеріалів. Такою альтернативою стали біорозкладні плівки на основі біополімерів. У 2020 році біологічний пластик, який використовується для упаковки харчових продуктів, склав 0,99 млн тон, що становить 47% від загального виробництва біологічного пластику. Сировини для виробництва біополімерів відносно багато, а виробництво біополімерів споживає сільськогосподарські відходи, що разом із перевагами для навколишнього середовища робить виробництво біополімерів прибутковим.

Біополімери популярні в харчовій упаковці, оскільки вони їстівні та безпечніші для людини. Для застосування в харчовій упаковці найбільш часто досліджуваними нанокомпозитними біоматеріалами є білки, вуглеводи та їх похідні. Для досягнення екологічно чистої альтернативи та досягнення цілей сталого розвитку нанокомпозити на основі целюлози та крохмалю можуть бути включені в пакувальні системи. Приклади природних антиоксидантів для ліпідної їжі включають, серед іншого, їстівні плівки та покриття з активним покриттям на основі похідних целюлози, хітозану, альгінату, галактоманнанів або желатину.

Хітозан – молекула хітину без ацетильних груп.
Хітин – азотовмісний полісахарид, який хімічно дуже схожий з целюлозою, лише замість гідроксила на кожному кільці із 6 атомів Карбону розташована аміногрупа, в якій один з двох атомів Гідрогену заміщений на ацетильну групу. Вперше був виділений із зовнішніх оболонок тарантулів.
Галактоманнани – група гетерополісахаридів, молекули яких складаються із залишків галактози та маннози у різних співвідношеннях, при цьому манноза утворює скелет із приєднаними бічними залишками

галактози. За призначенням є запасні вуглеводи, складають основну частину ендосперму насіння деяких рослин сімейства бобових, з яких і витягуються.
Галактоза – один з простих цукрів, моносахарид. Відрізняється від глюкози просторовим розташуванням водневої і гідроксильної груп в 4-го вуглецевого атома. Міститься в тваринних і рослинних організмах, у тому числі в деяких мікроорганізмах. Входить до складу молочного цукру.
Маноза – моносахарид із загальною формулою $C_6H_{12}O_6$ ізомер глюкози, компонент багатьох полісахаридів та змішаних біополімерів рослинного, тваринного та бактеріального походження. Входить до складу плодів цитрусових.

Целюлоза є найпоширенішим біополімером у світі, що робить її ідеальною сировиною для використання в екологічних пакувальних матеріалах. Прості ефіри целюлози, такі як метилцелюлоза, гідроксипропілцелюлоза, гідроксипропілметилцелюлоза, карбоксиметилцелюлоза, придатні для виробництва пакувальних плівок. Целюлозу отримують з природних джерел, таких як деревина, бавовна та харчові відходи, сільськогосподарські відходи, зернові висівки та шкірка фруктів. Її доступність із багатьох різних джерел, а також те, що вона біологічно розкладається, екологічно чиста і недорога, зробили целюлозу часто переважним матеріалом для упаковки. Крім того, що вона їстівний і здатний до біологічного розкладання матеріал, її сенсорні та органолептичні властивості є корисними; отже, целюлозу можна використовувати для інкапсуляції біоактивних речовин для підвищення поживних властивостей харчових продуктів.

Крохмаль є одним з найбільш важливих біорозкладаних полімерів через його велику кількість, низьку вартість, здатність до біологічного розкладання та відновлюваність. Плівки на основі крохмалю використовувалися в технологіях упаковки та консервації харчових продуктів, оскільки вони демонструють чудову здатність до плівкоутворення та унікальні властивості желатинізації, а також їхню природу без запаху, смаку та кольору. Досі плівки на основі

крохмалю широко використовувалися в упаковці різних видів харчових продуктів (таких як м'ясо, фрукти, олія та сир), оскільки вони мають хороші органолептичні та газозахисні властивості. Однак матеріали на основі крохмалю є крихкими та гідрофільними, що обмежує їх переробку та використання. Для поліпшення властивостей крохмаль змішують з різними синтетичними і природними полімерами; це підвищує міцність обробних властивостей матеріалів.

Ще одним біополімером є хітозан, який отримують з хітину. Хітозанові плівки продемонстрували хороші антибактеріальні та антиоксидантні властивості для упаковки харчових продуктів. Аміно- та гідроксильні групи в структурі хітозану впливають на його антимікробну активність щодо грампозитивних і грамнегативних бактерій. Плівки на основі хітозану мають високу газонепроникність. Їх крихкість виключає використання пластифікаторів, таких як поліоли (гліцерин, сорбітол і поліетиленгліколь) або жирні кислоти (стеаринова і пальмітинова).

Поліоли – органічні сполуки класу спиртів, які містять у своєму складі кілька гідроксильних груп.

Будучи водорозчинним природним полімером, желатин є білком біологічного походження, який демонструє високу здатність до біодеградації, біосумісність, водопоглинання, неімуногенність і комерційну доступність. Завдяки цим властивостям різні форми желатину (наприклад, фольга, каркаси, капсули, фільтри) використовуються в косметиці, фармації, медицині, продуктах харчування та фільтрації води. Однак через його гідрофільність його структуру потрібно стабілізувати, оскільки за відсутності стабілізації біополімерів матеріали на основі желатину мають тенденцію розчинятися та втрачати свою структуру.

Серед доступних методів стабілізації структури желатину зшивання білків є одним із найбільш часто використовуваних підходів для досягнення гідролітичної стабільності зразків на основі желатину. Зшиваючі агенти, такі як глутаральдегід і геніпін, широко використовуються в цьому відношенні. Однак

існують потенційні проблеми токсичності, а також потреба в стратегіях інтенсивної детоксикації з урахуванням залишкових груп глутарового альдегіду, що не прореагували.

Глутаральдегід – це диальдегід глутарової кислоти, на зовнішній вигляд безбарвна масляниста рідина з різким характерним запахом. Його структурна формула (CHO)CH.

Геніпін – це хімічна сполука, яка міститься в екстракті плодів Genipa americana. Геніпін є чудовим природним лінкером для зшивання білків, колагену, желатину та хітозану.

Крім того, висока вартість геніпінів є одним із основних недоліків при використанні цих зшиваючих засобів. Пакувальний матеріал на основі желатину має хороший кисневий бар'єр порівняно з іншими біополімерами та має здатність до зварювання, що важливо при виробництві упаковки. Виробництво желатинової фольги відносно просте; не потребує спеціальних умов для сушіння та формування фольги. Щоб запобігти ризику токсичності та досягти економічної ефективності, термічна обробка желатину разом із цукровими частинками нещодавно була представлена як альтернативний метод хімічного зшивання. У результаті реакція конденсації між білками та цукром називається реакцією Майяра (MR). Матеріали на основі желатину демонструють різні властивості (наприклад, розчинність, набухання, антиоксидантну активність, збереження морфології після занурення) на основі ступеня MR, який залежить від таких параметрів, як тип цукру, час реакції, температура та pH розчину. Пентози (наприклад, рибоза) є більш реакційноздатними, ніж гексози (наприклад, глюкоза) і дисахариди (наприклад, лактоза), тоді як збільшення відсотка цукру (до певної точки), температури або pH розчину викликає подальшу розширену реакцію.

Пентози, $C_5H_{10}O_5$ – органічні сполуки з групи моносахаридів, у молекулі яких є п'ять вуглецевих атомів. Кристалічні речовини, солодкі на смак, добре розчинні у воді. Входять до складу деяких глікозидів та полісахаридів рослин а також нуклеїнових кислот.

Гексози, $C_6H_{12}O_6$ – вуглеводи групи моносахаридів, молекули яких містять шість вуглецевих атомів. Є в тканинах рослин, тварин і людини у вільному стані, або входять до складу глікозидів і полісахаридів. Залежно від характеру карбонільної групи, гексози поділяють на альдогексози і кетогексози.

Щоб підвищити біодоступність і стабільність тіаміну в сирому і вареному червоному м’ясі, було успішно застосовано процес нанопокриття з тіамінового нановолокна. Крім того, він забезпечує безперервне підвищення вмісту тіаміну в зразках червоного м'яса в холодних умовах зберігання протягом 3 днів. Тоді як для зразків червоного м’яса з нанопокриттям повідомлялося про максимальну біодоступність 87%. Отже, враховуючи ці результати, у майбутньому це застосування нанотехнологій може відігравати провідну роль у харчовій промисловості.

Найвдалішою їстівною білковою плівкою на ринку є ковбасна оболонка з колагену. Плівки зменшують витікання та запобігають зміні кольору та окисленню жиру розморожених та охолоджених стейків з яловичини. Плівки на основі колагену використовуються для обробленого м'яса для підвищення соковитості, зменшення стікання. Протягом багатьох років японська м'ясна промисловість комерційно використовувала плівки та покриття на основі полісахаридів. Під час обробки покриття розчиняються та з’єднуються з м’ясом, що позитивно впливає на текстуру та зменшує втрату ваги, забезпечуючи більший вихід.

11.3. Електропрядіння

Нановолокна отримують за допомогою методів електропрядіння, які використовують електростатичні сили для формування волокон, і методів без електропрядіння, які використовують механічну силу.

Електропрядіння – це спосіб виготовлення нановолокон, який передбачає створення електрично зарядженого струменя з краплі розчину полімеру та збирання нановолокон на колекторі

Електропрядіння є універсальним, економічно ефективним і зручним методом виробництва нано-/мікроволокон з високим співвідношенням площі поверхні до об’єму, контрольованими розмірами, високою вантажопідйомністю, малою вагою та широкою гнучкістю. Більше того, завдяки десятиліттям еволюції, нановолокна тепер можуть бути розроблені з різними структурами та морфологіями для виконання певних функцій, таких як одноосьові, порожнисті, ядро–оболонка та пористі структури.

Електропрядіння – це легка та універсальна нанотехнологія виробництва нетканих нановолоконних плівок. Його переваги: високе співвідношення площі поверхні до об'єму, підвищена пористість, малий розмір міжволокнистих пор, висока газопроникність. Воно широко використовується в природних і синтетичних полімерах. Таким чином, електропрядіння викликало інтерес, серед іншого, до текстилю, сільського господарства, очищення води, фільтрації повітря, накопичення енергії, косметики, електроніки та датчиків, фармацевтичних препаратів, біомедичних продуктів та упаковки. Серед інноваційних підходів до пакування, електропрядіння викликало великий інтерес у біомедичній та харчовій промисловості, особливо в упаковці для м’яса.

Швидкий розвиток електропрядіння призвів до численних застосувань у різних галузях, включаючи біомедицину, харчову упаковку, датчики, захисні матеріали, текстиль, енергетику, масло-воду сепарацію та інші. Кілька застосувань електропрядіння було знайдено в науці про харчові продукти, наприклад, захист біоактивних інгредієнтів від зовнішніх факторів шляхом їх інкапсуляції та продовження терміну придатності харчового продукту шляхом покращення його біодоступності та контрольованого вивільнення біомолекул. Останнім часом електропрядені нановолокна привернули велику увагу при розробці харчових пакувальних плівок.

Крім того, будучи нетермічним процесом, електроформування сприяє збереженню стабільності структури, особливо при використанні добавок з низькою термічною стабільністю при високих температурах. Процес електропрядіння можна коротко розділити на три етапи:

- формування конічної форми («конуса кравця») зарядженою краплею розчину полімеру;
- утворення струменя на кінці конуса, якщо напруженість електричного поля достатня для подолання в'язкопружної сили розчину;
- осадження твердого струменя на поверхні колектора та виробництво багатьох волокон із швидким випаровуванням розчинника. Для отримання волокон за допомогою розчинного електропрядіння можна використовувати різні матеріали, включаючи синтетичні та природні полімери та їх комбінації.

Серед них синтетичні полімери, такі як полістирол і полівінілхлорид, біосумісні та біологічно розкладані синтетичні полімери, такі як полімолочна кислота та полімолочна спільно з гліколевою кислотою, провідні полімери, такі як поліанілін і поліпірол і природні полімери, такі як хітозан, альгінат, колаген і желатин, можуть бути безпосередньо електропряденим у нановолокна. Технологія електропрядіння була використана для розробки високоефективних пакувальних матеріалів у харчовій промисловості завдяки її унікальним перевагам: вона може виробляти мікро-/нановолокна для інкапсуляції нестабільних біоактивних молекул і навантаження наночастинками; їстівні пакувальні нановолокна з біополімерів, які демонструють чудову біобезпеку; і нановолокна для контрольованого вивільнення біологічно активних сполук під певним стимулом.

Природні полімери, особливо полісахариди та білки, часто використовуються для виробництва нановолокон через їх біосумісність, нетоксичність, харчові властивості та здатність до біологічного розкладання. Крім того, їх різноманітність функціональних груп дозволяє зв'язувати або вловлювати широкий спектр активних інгредієнтів за допомогою молекулярних взаємодій. Функціональні електросформовані килимки можна використовувати для розробки нанокомпозитного матеріалу з різноманітного асортименту пластмас із покращеними характеристиками для застосування в пакуванні. Крім того, їх можна використовувати для посилення фізичних властивостей як пластмас, так і біопластиків як прозорих газових бар'єрних шарів або навіть як

нових технологій для розробки біоактивної упаковки з антимікробним захистом і доставки нутрицевтиків до харчових продуктів. Нещодавно було синтезовано численні матеріали, що реагують на стимули, які можуть досягати контрольованого вивільнення активних речовин, таким чином створюючи довготривалий біологічний ефект.

Нановолокнисті килимки є перспективними кандидатами в активному пакуванні. У промисловості АР нановолокна є дуже корисними інструментами для захисту та доставки біоактивних сполук до місця призначення в потрібний час. Електропрядене нановолокно може покращити бар'єрні та антимікробні властивості матеріалів у харчовій упаковці залежно від їх функціональних властивостей. Ці нановолокна також можна використовувати як наносенсори для виявлення та моніторингу умов харчового продукту під час транспортування та зберігання. Ці біологічні полімери можуть бути засновані на білках, ліпідах або полісахаридах. Ця передова технологія спочатку походить від збагачення антиоксидантами дизайну упаковки. Електропрядені волокна демонструють хорошу здатність заряджати активні речовини, а їх величезна площа поверхні призводить до швидкої реакції на внутрішні або зовнішні чинники шляхом своєчасного вивільнення захоплених сполук.

Таким чином, як нова технологія, електроформування може покращити загальну якість і подовжити термін зберігання свіжих або упакованих м'ясних продуктів, включаючи захист продуктів від мікробного забруднення, запобігання ліпідам і окислення білка, розвиток сенсорних властивостей і поліпшення функціональних і поживних характеристик м'ясних продуктів. Електропрядіння дозволяє вбудовувати антимікробні сполуки в матриці або пакувальні килимки та здатне функціонально впливати на поверхню м'яса чи продуктів, де знаходиться мікробіологічна активність, замість того, щоб змішувати їх безпосередньо з їжею.

Плівки на основі крохмалю з нановолокнами демонструють надзвичайно високу поверхневу активність, що робить їх потенційними кандидатами для активної харчової упаковки завдяки їх нанорозмірам. Крім того, морфологію та

структуру електропрядених крохмальних волокон можна легко змінити, щоб захистити численні активні речовини та підвищити механічні та бар'єрні властивості. Кілька факторів, як-от орієнтація волокна, додаткові інгредієнти і кінцева обробка, можуть впливати на їхні властивості, необхідні для упаковки харчових продуктів.

Результати показують, що покриття на основі зеїну більше підходять для упаковки харчових продуктів з високим вмістом води.

Зеїни – спирторозчинні проламінові білки, що міститься в зернах кукурудзи. Являють собою поліморфну білкову систему, компоненти якої кодуються великою полігенною родиною. На зеїн припадає близько 30-40% білка кукурудзи. Це малопоживний білок. Він поступається білкам інших злакових і бобових культур.

Розроблено електроволокно хітозан-поліетилен-куркумін для контролю свіжості курячого м'яса і показано, що нановолокна, завантажені куркуміном, дають можливість контролювати псування курки в реальному часі.

Куркумін – основний куркуміноїд, що входить до складу кореня куркуми. Саме завдяки куркуміноїдам корінь куркуми має характерне жовте забарвлення. Барвник куркумін дає яскраво-жовтий колір і використовується як харчовий додаток з маркуванням Е100.

Проблема полягає в тому, щоб подолати ненадійність біопластику. Виникла необхідність розробки багатошарової суміші з використанням активуючих добавок. Підсумовуючи, електропрядіння виступає багатообіцяючою технікою з потенційним застосуванням у сферах функціональних харчових продуктів і АР. Перевагою електропрядіння є його простота, можливість використання в широкому спектрі матеріалів, низька вартість.

11.4. Антиоксидантні та антимікробні сполуки

Багато м’ясних продуктів вважаються швидкопсувними через високий вміст поживних речовин. Температура є основним фактором активації росту мікроорганізмів і хімічних реакцій; таким чином, температура охолодження має значний вплив на їхні властивості. Однак коливання температури під час зберігання та транспортування можуть погіршити якість продуктів, наприклад, шляхом збільшення мікробного росту та хімічних реакцій, таких як підвищення рівня пероксидів і тіобарбітурової кислоти.

Для підвищення комерційної цінності та безпеки яловичини були розроблені та широко використовуються методи холодного зберігання та логістика холодового ланцюга. Ці методи використовуються для збереження сирої яловичини, особливо при заморожуванні та охолодженні. Заморожування нижче -18 °C значно подовжує термін зберігання м'ясних продуктів, але погіршує якість м'яса в процесі заморожування-розморожування. Для порівняння, зберігання при 4 °C може зберегти сенсорну якість м’яса та знизити споживання енергії; однак воно не може повністю пригнічувати ріст мікробів, зокрема деяких психрофілів, тому термін придатності продуктів обмежений.

М’ясна промисловість зацікавлена в досягненні цілей довговічності упаковки та виробництві сучасних рішень, заснованих на біологічних, біологічно розкладаних, компостованих, перероблених або повторно використаних матеріалах. Зростання попиту на м’ясо спонукало до значного прогресу в упаковці м’яса, що гарантує здорові та безпечні продукти. Водночас безпека та якість м’яса залежать від пакувальних матеріалів і застосовуваних технологій. Інновації в наноматеріалах харчової упаковки в першу чергу пояснюються їхніми такими відмінними характеристиками: чудовими оптичними, бар’єрними та тепловими властивостями, антимікробною активністю та вдосконаленими сенсорними властивостями, що впливають на їхній хімічний, фізичний та біологічний потенціал на відміну від їх масових аналогів.

Наноматеріали, що складаються з TiO_2, SiO_2, AgNPs, графен і наноцелюлоза, мають чудові характеристики, такі як висока каталітична активність і провідність, що робить їх квінтесенцією кандидатів для біосенсорних здібностей. Зразкові електрохімічні імуносенсори, які підходять для виявлення *Salmonella* у зразках м'яса, нещодавно були знайдені в літературі. Наприклад, графен є повністю надійним біосенсорним наноматеріалом, який можна легко інтегрувати з розумними системами упаковки. Нановолокна та електроди на основі графену використовуються в розробці гнучкого детектора для етанолу, гістаміну та аміаку. Серед цих плівок природні колориметричні плівки на основі пігменту привернули значну увагу через їх нетоксичність, біосумісність, природу визначення pH та інші. Ці pH-чутливі колориметричні плівки можуть показувати видимі зміни кольору під час реакції з ненейтральними леткими газами, що утворюються з продуктів з розщепленим вмістом білка, що може надати візуальну інформацію про якість та мікробне забруднення харчового продукту.

Для уповільнення окислення ліпідів і зменшення хімічних добавок, що спричиняють розлади здоров'я, застосовується функціональна упаковка з використанням природних антиоксидантів для продовження терміну зберігання м'ясних продуктів. Антиоксидантні та антимікробні сполуки, що використовуються в харчовій упаковці, мають різне походження: природні, такі як ефірні олії, нізин, куркумін, α-токоферол і вітаміни, фенольні екстракти рослин і вичавок, аллілізотіоціанат і хітозан; синтетичні антиоксиданти, такі як бутилгідрокситолуол та його аналоги, бутилгідроксіанізол і t-бутилгідроксихінон; або антимікробні, такі як органічні кислоти (оцтова, сорбінова та аскорбінова, бензойна та пропанова), нітрити та нітрати.

Аллілізотіоціанат – ефірна гірчична олія. Отримується дистиляцією води, яка містила розмелене насіння. Олію отримують змоченням порошку насіння гірчиці теплою водою.

Тимол, який є основним компонентом олії чебрецю (класифікований Управлінням з контролю за якістю харчових продуктів і медикаментів США як

безпечний), є багатообіцяючою альтернативою хімічним консервантам із хорошими антимікробними та антиоксидантними властивостями. Незважаючи на те, що потенціал тимолу як харчового консерванту широко обговорюється, його використання у складі плівки або покриття дуже обмежене через його високу летючість і гідрофобність. Враховуючи ці проблеми, особлива увага приділяється інкапсуляції біоактивних сполук рослинного походження в біополімерних наноносіях. Було використано желатинові нановолокна, які містять ефірну олію чебрецю та наночастинки ε-полілізину β-циклодекстрину, щоб контролювати ріст *Campylobacter jejuni* на поверхні домашньої птиці без впливу на сенсорні та текстурні властивості та колір. У упакованих зразках курки було виявлено нижчу кількість аеробних бактерій, загальний летючий основний азот, вміст триметиламіну та значення pH.

Коричний альдегід (3-феніл-2-пропеналь), компонент натуральної коричної олії зі загальним смаком, є одним із важливих антиоксидантів і протимікробних агентів. Його можна використовувати для підвищення якості харчових продуктів і продовження терміну їх зберігання. Його чутливість до тепла, світла, вологості, кисню та рідкої форми при кімнатній температурі вимагає його інкапсуляції. Зеїнова нановолокниста маса, що містить 1000 ppm, заповнена коричним альдегідом, показала хорошу бактерицидну активність проти *Staphylococcus aureus* і *Escherichia coli* без суттєвого несприятливого впливу на текстуру або колір у ковбасах зі зниженим вмістом нітритів. Кількість *E. coli* та *S. aureus* зменшилась у всіх ковбасах під час зберігання через наявність зеїнових нановолокон з коричним альдегідом як антибактеріальним агентом та нітратами. Багато досліджень повідомляють, що коричний альдегід, нановолокна зеїну з коричним альдегідом і нітрити демонструють тривале пригнічення росту *S. aureus* і *E. coli* . Після 10 днів зберігання зразки з пакетами, що містять матеріали фазової зміни, використовувані для буферизації температури, не містили бактерій *E. coli* та *S. aureus*.

Використовуючи нестабільні речовини в АР, позитивні результати спостерігаються в техніках нанокапсуляції, включаючи наночастинки,

наноемульсії та нанокапсули. Це запобігає деградації, наприклад, біоактивних сполук шафрану за несприятливих умов, поки вони не будуть доставлені для фізіологічних цілей. У цьому контексті електророзпилення останнім часом викликають підвищений інтерес до інкапсуляції біоактивних інгредієнтів і упаковки харчових продуктів. Ці методи є простими, універсальними, нетепловими і, отже, дуже придатними для інкапсуляції термочутливих сполук.

11.5. Мікрокапсуляція

Згідно з останніми дослідженнями, надмірне накопичення в організмі людини продуктів, що утворюються в результаті реакцій кисню та азоту, є відповідальним за передчасне старіння та такі захворювання, як рак, діабет, серцево-судинні та нейродегенеративні захворювання (Альцгеймера та Паркінсона). Антиоксиданти є потужним інструментом для зменшення окислювального стресу, що дозволяє зупинити або затримати ланцюгову реакцію за допомогою кількох механізмів: реакція з вільними радикалами, виснаження молекулярного кисню, дезактивація синглетного кисню, видалення проокислювальних іонів металів, поповнення водню для інших антиоксидантів і поглинання УФ-випромінювання. світло і, крім того, антиоксиданти також можна використовувати як консерванти, щоб уникнути окислення ліпідних інгредієнтів.

Останнім часом зростає інтерес до натуральних антиоксидантів у порівнянні з синтетичними через те, що споживачі віддають перевагу органічним і натуральним продуктам з меншою кількістю добавок і побічних ефектів. Однак природні антиоксиданти мають деякі характеристики, які можуть обмежувати їх промислове застосування, такі як чутливість до тепла, кисню, pH і світла, а також неприємний смак або запах, низька доступність, висока реакційна здатність з іншими інгредієнтами, присутніми в матриця продукту, а також висока чутливість до умов зберігання та обробки.

Мікрокапсуляція може бути використана для подолання деяких обмежень антиоксидантів і підвищення їх застосовності. Приклади кінцевих продуктів, у які можуть бути включені інкапсульовані антиоксиданти, включають косметичні препарати, харчові продукти та добавки та харчову упаковку. У техніці мікрокапсулювання тверді, рідкі або газоподібні сполуки оточують матеріалом покриття, що створює мікрочастинку, яка може використовуватися в харчовій, фармацевтичній, косметичній, агрохімічній та текстильній промисловості. Деякі переваги методів мікрокапсуляції включають більш високу стабільність шляхом ізоляції активних інгредієнтів для запобігання їх погіршенню, затримку випаровування у випадку леткого ядра, контрольоване та цілеспрямоване вивільнення активних інгредієнтів і покращену естетику продукту та маркетингове сприйняття, зберігаючи властивості ядра. Мікрокапсуляція також здатна маскувати основні небажані властивості, такі як небажаний смак, запах або активність, і зменшити кількість інгредієнтів у рецептурі, що є альтернативою для економії витрат. Існують різні методи мікрокапсулювання, хоча сушіння розпиленням є одним із найбільш використовуваних через його простоту, відносно низьку вартість, гнучкість, високу стабільність кінцевого висушеного продукту (через низький вміст вологи), значне зменшення об’єму, легкість обробки, транспортування та зберігання частинок. Це також дозволяє безперервну роботу та відповідну інкапсуляцію багатьох термолабільних (низькокиплячих) матеріалів завдяки нижчим температурам, яких досягає матеріал ядра. В даний час такі речовини, як антибіотики, медичні інгредієнти, добавки, вітаміни та поліфеноли, серед іншого, інкапсулюють у великому масштабі за допомогою розпилювальної сушки.

Як приклад було вибрано 3 природних антиоксиданти (кавова кислота (CAF), хлорогенова кислота (CGA) і розмаринова кислота (RA)), враховуючи їх вищезазначені переваги для промислового застосування, і мікрокапсульовані в натрій-карбоксиметилцелюлозі (Na-CMC). CAF і CGA є поліфенолами, які в основному містяться в кавовому дереві, хоча інші джерела включають фрукти (наприклад, яблука, груші, ягоди, сливи), овочі (наприклад, солодку картоплю,

салат, шпинат), чорний чай, соєві боби та пшеницю. РА також є поліфенолом, який міститься в різноманітних рослинах родини *губоцвітих*: орегано, розмарин, майоран, шавлія мускатна, чебрець, базилік. Відповідно до літератури, існує кілька переваг, пов'язаних із цими сполуками, окрім їх сильної антиоксидантної активності: протизапальні, антимікробні та противірусні властивості, а також профілактика захворювань, пов'язаних з окислювальним стресом (а саме серцево-судинних, ракових і нейродегенеративних).

З іншого боку, карбоксиметилцелюлоза (КМЦ) є водорозчинною аніонною похідною целюлози з карбоксиметильними групами заміщення та має застосування в широкому діапазоні галузей, таких як харчова, косметична, фармацевтична, текстильна та миючі засоби. Карбоксиметилцелюлоза вже широко використовується в косметичних і особистих товарах як емульгатор, стабілізатор, плівкоутворювач і загусник. Набухання гідрогелю карбоксиметилцелюлози залежить від pH та іонної сили через наявність електростатичних зарядів у полімерній сітці, що походять від іонів натрію та карбоксиметильної групи. Плівки, сформовані з використанням карбоксиметилцелюлози, загалом мають помірну міцність у водних розчинах, хоча така властивість залежить від ступеня заміщення та молекулярної маси.

Було виконано мікрокапсулювання шляхом розпилювальної сушки цих трьох різних антиоксидантних сполук (CAF, CGA і RA) з використанням Na-CMC, враховуючи переваги цих природних антиоксидантів, а також інкапсулюючого агента. Після інкапсуляції мікрочастинки характеризували за формою та розподілом за розміром, а також проводили дослідження контрольованого вивільнення. Також була оцінена антиоксидантна здатність інкапсульованих кислот.

Мікрокапсуляція – це передова технологія обробки харчових продуктів, за допомогою якої будь-яку сполуку можна інкапсулювати всередину конкретного матеріалу, утворюючи крихітну сферу діаметром від 1 мкм до кількох 100 мкм. Мікрокапсуляція виконується для захисту чутливих сполук і, отже, для забезпечення їх безпечної доставки. Сполука або активний матеріал, який

інкапсулюється, називається ядром, а матеріал, який використовується для інкапсуляції, називається інкапсулятоном. Інкапсулятори можуть бути як полімерними, так і неполімерними матеріалами, такими як целюлоза, етиленгліколь і желатин. Існує кілька методів мікрокапсулювання. Нанесення покриття в псевдозрідженому шарі, охолодження розпиленням, сушіння розпиленням, екструзія та коацервація – лише деякі з них. Вибір конкретної методики залежить від властивостей матеріалу серцевини, інкапсулятора та різних властивостей і морфології бажаних капсул. Охарактеризувати та оптимізувати ефективну та успішну інкапсуляцію можна шляхом вивчення ефективності інкапсуляції та різних властивостей капсул, таких як морфологія, розмір, гідрофобність, гігроскопічність, розчинність, поверхневий натяг, термічна поведінка та механічні властивості. Мікрокапсуляція – це технологія, яка широко використовується в харчових продуктах як засіб для збагачення або як спосіб розробки функціональної їжі. Це нова технологія, яка веде до захисту різних харчових компонентів або функціональних складових від різних умов обробки, покриваючи їх полімерним або неполімерним матеріалом і дозволяючи їх контрольоване вивільнення за певних умов. Крім того, він покращує сенсорні якості шляхом маскування неприємного смаку, аромату та присмаків; також він підвищує безпеку харчових продуктів, пригнічуючи ріст мікробів. Різні біологічно активні сполуки, такі як омега-3 і омега-6 жирні кислоти, вітаміни, фенольні сполуки та каротиноїди, зараз широко використовуються для розробки продуктів із численними функціональними властивостями, щоб задовольнити зростаючі потреби споживачів. Однак такі сполуки дуже нестабільні за певних умов світла, температури, pH і кисню. Таким чином, мікрокапсуляція таких сполук є способом їх захисту від таких суворих умов під час обробки харчових продуктів. Кілька харчових компонентів, які широко інкапсульовані, включають різні ароматизатори, ліпіди, антиоксиданти, ефірні олії, пігменти, пробіотичні бактерії та вітаміни. Використовуються різні матеріали для покриття залежно від їхніх реологічних властивостей, здатності диспергувати активну сполуку та стабілізувати її, інертності щодо активної сполуки та їх здатності належним

чином утримувати активну сполуку. Деякі матеріали для покриття включають вуглеводи, такі як крохмаль, мальтодекстрин, модифікований крохмаль, циклодекстрин, целюлоза; ліпіди, такі як віск, парафін, бджолиний віск, діацилгліцерини; камеді, такі як камедь акації, агар, карагенан; і білки, такі як глютен, казеїн і желатин. Мікрокапсуляція – це технологія, яка служить інструментом для захисту чутливих і дорогих поживних речовин, забезпечуючи їх захисною стінкою, яка дозволяє їм вивільнятися в певному місці, у певний час, і за особливих умов. На основі фізичних і хімічних властивостей ядра, складу матеріалу оболонки та використовуваного методу мікрокапсулювання отримують різні типи капсул: просту сферу, оточену матеріалом стінки, капсули з нерегулярним ядром, кілька окремих ядер усередині суцільне покриття матеріалу стінки, багатостінні мікрокапсули та частинки ядра, вбудовані в матрицю матеріалу стінки. Залежно від типу використовуваного матеріалу покриття для виготовлення мікрокапсул використовуються різні методи, і ці методи призводять до відмінностей у властивостях капсул, таких як розмір капсули, морфологія, пористість, гігроскопічність, гідрофобність, поверхневий натяг і термічна поведінка. Дуже важливо знати про ці властивості капсул, щоб зрозуміти їх поведінку в будь-якій системі харчування. Ці властивості, у свою чергу, тісно пов’язані з контрольованим вивільненням інкапсульованого ядра. Основний матеріал необхідно належним чином захистити, щоб він вивільнявся в певний час, таким чином покращуючи ефективність процесу мікрокапсулювання та створюючи широкий спектр застосувань. Основні фактори, що впливають на вивільнення ядра, включають природу матеріалу ядра, співвідношення ядра та інкапсулятора, природу інкапсулятора та взаємодію між ними. У цьому огляді критично аналізуються всі важливі концепції, пов’язані з мікрокапсуляцією, включаючи потребу в мікрокапсуляції в продуктах харчування, властивості матеріалів для покриття та тип основного матеріалу, для якого вони можуть використовуватися. Крім того, він також включає різні методи мікрокапсулювання, властивості мікрокапсул, такі як фізичні, механічні,

термічні та функціональні, а також різні механізми вивільнення ядра. Це також демонструє актуальність цієї технології в харчовій промисловості.

Багато компонентів, як-от ефірні олії, які мають численні переваги, такі як антимікробні та антиоксидантні властивості, мікроорганізми, які використовуються в ферментації, і пробіотики, можуть широко використовуватися при приготуванні функціональних харчових продуктів. Але такі компоненти дуже сприйнятливі до окислення під впливом високої температури, світла або атмосфери кисню. Таким чином, інкапсуляція виявилася єдиним рішенням для таких проблем. Інкапсулювали часникову олію, використовуючи β-циклодекстрин як метод термічного захисту для його антимікробної дії. Дослідження показало, що інкапсуляція підвищує термічну стабільність часникової олії.

Покращена доставка компонентів, які інкапсулюються, означає, що ці компоненти доставляються повністю після їх контрольованого вивільнення, і це ґрунтується на виборі правильного матеріалу покриття для інкапсуляції. Було використовано покривний матеріал на основі соєвого білка для покращення доставки пробіотиків у кишечник. Ідея полягала в тому, щоб вивчити ефективність покривного матеріалу на основі соєвого білка для захисту пробіотиків від стресових умов, таких як низький pH і ферменти імітованої шлункової рідини. Для інкапсуляції було відібрано два різних штами, а саме *Lactobacillus plantarum* і *Lactobacillus casei*. Життєздатність штамів досліджували в шлунково-кишкових умовах in vitro, і було виявлено, що концентрат соєвого білка був ефективним у підвищенні життєздатності пробіотичних штамів. і захистити їх від шлунково-кишкових рідин.

Інкапсульовані функціональні компоненти, такі як певні вітаміни, ароматизатори або ефірні олії, коли вони включені в харчову матрицю, важливі лише тоді, коли вони вивільняються в певному місці тіла або в певний час, наприклад, інкапсульовані ароматизатори в жувальній гумці вивільняються лише коли гумку жують. При цьому важливу роль відіграє тип використовуваного матеріалу оболонки. Існують різні механізми, за допомогою

яких інкапсульовані компоненти можуть вивільнятися з капсул. До них належать (а) механізм швидкого вивільнення, який в основному використовується у випадку інкапсульованих пробіотиків, (б) термічна деградація, коли матеріал покриття розкладається при певній температурі, а серцевина вивільняється, і деякі інші. Було інкапсульовано *L. casei* в альгінатну матрицю та відтворено його контрольоване вивільнення в харчовій матриці. Утворені пробіотичні кульки суспендували в кокосовій воді, збагаченій лактозою. У цьому середовищі захоплені клітини росли, і коли кількість клітин збільшувалася до критичної концентрації, кульки лопалися і мікроби звільнялися. Таким чином, у цьому випадку інкапсульованим мікробам було забезпечено сприятливе середовище для їх росту, отже, кульки, що їх інкапсулювали, лопнули. Досліджували контрольоване вивільнення аллілметилдисульфіду, ліпофільної сполуки в часнику під час варіння. Ця сполука є дуже летючою за своєю природою, тому вона була захоплена в біополімерний гель, виготовлений із комплексу, утвореного між іоном кальцію та альгінатом натрію. Захоплення сполуки в біополімерному гелі затримало вивільнення аромату до трьох разів під час приготування, отже, вивільняючи його на більш пізній стадії приготування. Мікрокапсуляція використовується для маскування небажаного смаку та аромату певних сполук перед додаванням їх у будь-яку їжу. Наприклад, риб'ячий жир і деякі гіркі на смак сполуки можна використовувати в харчових продуктах, не надаючи їжі неприємного смаку та запаху, і все це завдяки мікрокапсулюванню. Матеріал покриття або матеріал стінки, який використовується для мікрокапсулювання, має бути таким, щоб він міг утворювати когезійну плівку на ядрі, стабілізувати її та надавати міцність капсулам, бути інертним, щоб він не реагував з матеріалом ядра, не надає продукту жодного специфічного смаку, є непроникним і має здатність вивільняти серцевину в певний час і в певному місці, після спеціальної обробки.

11.6. Техніка мікрокапсуляції

11.6.1. Сушіння розпиленням

Сушіння розпиленням – це техніка, за якої живильний розчин, який є сумішшю матеріалу серцевини та матеріалу стінки, розпилюється та формується у вигляді туману всередині камери, куди подається гаряче повітря для перетворення туману на порошок. Залежно від різних факторів, таких як характеристики вихідного розчину та робочі умови, можна виробляти порошок із різним розміром частинок.

Під час сушіння розпиленням основний матеріал, тобто цікавий матеріал, потрапляє у висушений порошок. Деякі з переваг цього методу: його можна використовувати для різних інкапсулюючих агентів, він економічний, гнучкий, може використовуватися для багатьох різних типів матеріалів і може бути легко масштабований. Багато досліджень показали успішне застосування цієї техніки в інкапсуляції. Олеорезин кардамону був інкапсульований у суміші мальтодекстрину, модифікованого крохмалю та гуміарабіку за допомогою сушіння розпиленням, і результати показали підвищений захист олеорезинів.

Повідомлено про успішну інкапсуляцію смаку сумаху в хлорид натрію за допомогою розпилювальної сушки. Незважаючи на те, що розпилювальне сушіння є одним із найбільш широко використовуваних методів мікрокапсуляції та має багато заявлених переваг, деякі дослідження показали певні недоліки техніки. Коли гаряче повітря використовується як середовище для сушіння для інкапсуляції омега-3 жирних кислот, висушений порошок має частинки з високопористою структурою, що робить порошок більш схильним до окислення, таким чином, зменшуючи термін зберігання.

Таким чином, той самий метод може бути ефективним для інкапсуляції одного виду матеріалу, але мати недоліки для деяких інших видів матеріалів.

11.6.2. Охолодження спреєм

Метод інкапсуляції з охолодженням розпиленням дуже схожий на сушку розпиленням, головна відмінність полягає у використанні холодного повітря. Тут суміш матеріалу серцевини та матеріалу стінки розпилюється для утворення туману всередині камери, всередині якої тече холодне повітря. Низька температура всередині камери призводить до твердіння мікрокрапель, що призводить до утворення мікрокапсульованого порошку.

Ця техніка також має величезний потенціал для розширення. Деякі успішні реалізації цієї техніки в інкапсуляції включають мікрокапсуляцію токоферолів у ліпідній матриці з ефективністю інкапсуляції до 90%, інкапсуляцію заліза, йоду та вітаміну А в гідрогенізовану пальмову олію для збагачення солі. , де утворені мікрокапсули були високостабільними.

Однак цей метод також має деякі задокументовані недоліки. Деякі дослідження показали, що мікрокапсули, утворені шляхом охолодження розпиленням, не дуже стабільні, і це призводить до викиду матеріалу ядра під час зберігання.

11.6.3. Коацервація

Коацервація – це проста техніка, яка передбачає формування однорідного шару полімерного матеріалу стінки навколо матеріалу серцевини. Це досягається шляхом зміни фізико-хімічних властивостей матеріалу стінки шляхом зміни температури, pH або іонної сили. Тут матеріал серцевини та матеріал стінки змішуються для утворення розчину, який не змішується. Потім поділ фаз здійснюється шляхом зміни іонної сили, pH або температури з утворенням коацерватів, які є крихітними крапельками рідини, що складаються з багатої полімерами щільної фази. Потім ці коацервати оточують матеріал ядра, утворюючи мікрокапсули. Електростатична взаємодія між двома водними середовищами відповідає за перехід рідини в гель, тобто іонне гелеутворення, що призводить до утворення коацерватів.

Цей метод в основному використовується для інкапсуляції гідрофільних молекул. Така коацервація, в якій бере участь тільки один полімерний матеріал, називається простою коацервацією. Одним із прикладів такого полімеру може бути альгінат натрію. У простій коацервації альгінат натрію розчиняють у воді, і активну сполуку, яку необхідно інкапсулювати, яка зазвичай є маслом, змішують з нею, а утворену емульсію вивільняють краплями в гелеутворююче середовище, таке як хлорид кальцію. Іонна взаємодія між альгінатом натрію і хлоридом кальцію призводить до утворення нерозчинних полімерів, альгінату кальцію. Повідомлялося про кілька досліджень, які демонструють успішне використання цієї техніки в мікрокапсуляції. Олія солодкого апельсина була інкапсульована шляхом коацервації з використанням ізоляту соєвого білка (SPI) як матеріалу стінки. Коацервація також може включати більше одного полімеру, тоді вона називається комплексною коацервацією.

Одним із поширених прикладів комплексної коацервації є полімери, желатин і альгінат. Желатин розчиняють у воді при кислому pH для отримання позитивних зарядів, а альгінат солюбілізують у воді окремо при основному pH для отримання негативних зарядів. Активну сполуку, яку потрібно інкапсулювати, змішують із розчином альгінату та належним чином гомогенізують. Потім цю альгінатну фазу інтенсивно змішують з желатиновою фазою, і температуру підвищують, поки не почнеться хімічна реакція між альгінатом і желатином. Активна сполука інкапсулюється шляхом утворення навколо неї полікатіонно-поліаніонного нерозчинного полімеру. Було використано комплексний метод коацервації для інкапсуляції та стабілізації лляної олії. Тут желатин і гуміарабік, два протилежно заряджені полімери, використовувалися як матеріали стінок, і осадження цих матеріалів покриття навколо ядра було ініційовано зміною pH середовища. Однак застосування цього методу обмежене, оскільки він найкраще працює лише в певному діапазоні pH і з певними електролітами та колоїдними розчинами.

11.6.4. Покриття з киплячим шаром. Екструзія. Емульгування. Включення циклодекстрину

Покриття з псевдозрідженим шаром – це метод інкапсуляції, при якому матеріал покриття розпилюється на матеріал з псевдозрідженим серцевиною. Тут матеріал серцевини псевдозріджений шляхом нанесення повітря, на яке розпилюється матеріал покриття. Різними способами нанесення покриття з киплячим шаром є: (a) розпилення зверху (b) розпилення знизу та (c) тангенціальне розпилення. У цьому методі інкапсуляції ефективність покриття матеріалу стінки залежить від різних параметрів, таких як швидкість подачі матеріалу стінки, тиск розпилення сопла, температура повітря на вході та швидкість тощо. Бета-каротин був інкапсульований озпиленням з гідроксипропілцелюлозою з використанням покриття з киплячим шаром.

Технологія екструзії для мікрокапсулювання може бути використана для виробництва мікрокапсул високої щільності. Щоб використовувати цей метод, серцевина та матеріал стінки повинні бути незмішаними. Тут серцевина і матеріали стінки пропускаються таким чином, що матеріал стінки оточує серцевину, і вони пропускаються через концентричні сопла, таким чином утворюючи краплі, що містять серцевину, оточену матеріалом стінки. Потім відбувається затвердіння шляхом охолодження або використання відповідної гелеутворюючої ванни, де краплі падають і твердіють завдяки утворенню комплексу. Інкапсуляції, сформовані за допомогою цього методу, мають відносно більший розмір, ніж сформовані за допомогою будь-якого іншого методу, а також ця технологія корисна з обмеженими матеріалами стінок.

Інкапсуляція за допомогою техніки емульгування здійснюється шляхом диспергування ядра в органічному розчиннику, що містить матеріал стінки. Потім дисперсія емульгується в олії або воді, до якої додається стабілізатор емульсії. Інкапсуляція ядра відбувається шляхом утворення навколо нього компактного полімерного шару шляхом випаровування органічного розчинника. Це один із часто використовуваних методів інкапсуляції, оскільки процедури дуже прості. Цей метод широко використовується для інкапсуляції ферментів і

мікроорганізмів. Повідомлено про інкапсуляцію пробіотиків в альгінат-хітозан за допомогою емульгування та продемонстрували кращу стійкість пробіотиків за стимульованих шлунково-кишкових умов.

Циклодекстрини – це циклічні олігосахариди, здатні утворювати комплекси включення з багатьма органічними сполуками. Циклодекстрини мають внутрішню неполярну порожнину і гідроксильні групи на поверхні. Утворення комплексів включення циклодекстринів з гідрофобними сполуками в основному відбувається шляхом гідрофобної взаємодії між поверхнею циклодекстрину та гостьовими сполуками. Однак інші сили, такі як диполь-дипольна взаємодія та сили Ван-дер-Ваальса, також можуть брати участь у формуванні комплексів. Існує кілька способів отримання комплексів включення з циклодекстрином. Деякі з них:

Метод співосадження, який використовується для нерозчинних у воді речовин. У цьому методі сполуку, яку необхідно інкапсулювати, розчиняють в органічних розчинниках, таких як бензол, хлороформ, діетиловий ефір тощо, і до цього розчину додають циклодекстрин, розчинений у воді, у відповідній кількості при належному перемішуванні. Потім розчин охолоджують для отримання складних кристалів. Нарешті, кристали промивають органічним розчинником і сушать.

Ліофільна сушка або ліофілізація: цей метод переважно використовується для термолабільних сполук. Відповідну кількість циклодекстрину та цікавої сполуки розчиняють у воді шляхом належного перемішування. Розчин потім сушать заморожуванням і отриманий порошок промивають органічним розчинником і сушать під вакуумом.

Сушіння розпиленням: цей метод використовується лише для термостабільних молекул. Циклодекстрин і з'єднання, яке потрібно інкапсулювати, розчиняють у деіонізованій воді. А розчин сушать в розпилювальній сушарці. У багатьох харчових продуктах циклодекстрини використовуються для інкапсуляції ароматичних сполук, оскільки вони

забезпечують краще утримання, захист і покращують контрольоване вивільнення.

Різні модифіковані циклодекстрини, а саме 2-гідроксипропіл-β-циклодекстрин, довільно метильований β-циклодекстрин і триацетил β-циклодекстрин використовували для включення ароматизаторів, а саме d-лімонен, алілізотіоціанат і l-ментол. Включення ароматизаторів у циклодекстрин здійснювалося шляхом приготування розчинів, які потім сушили розпиленням або ліофілізували. Залежно від розчинності циклодекстрину для інкапсуляції використовували різні середовища.

11.6.5. Розмір частинок і морфологія мікрокапсул. Пористість. Гідрофобність поверхні

Розмір частинок мікрокапсул залежить від різних технологій, які використовуються для виробництва мікрокапсул. Морфологія мікрокапсул відноситься до внутрішньої та зовнішньої структури капсул, які значною мірою залежать від робочих умов, які використовуються для виробництва мікрокапсул, а також від використовуваних матеріалів стінок. Можна отримати різні типи капсул – просту сферу, оточену матеріалом стінки, капсули з нерегулярним ядром, кілька окремих ядер у суцільному покритті матеріалу стінки, багатошарові мікрокапсули та частинки ядра, вбудовані в матрицю матеріалу стінки.

Пористість мікрокапсул, сформованих будь-якою технікою, є однією з найважливіших властивостей мікрокапсул, що відповідає за їх функцію в конкретній харчовій матриці. І ця властивість значною мірою залежить від складу матеріалу стінки мікрокапсули та техніки, яка використовується для виготовлення мікрокапсули. Матриця стінки, яка утримує серцевину, сконструйована таким чином, щоб направляти масообмін між середовищем і ядром. Пористість матеріалу стінки відіграє велику роль у контролі проникнення летких речовин усередину капсули. Вона також визначає окислювальну

стабільність ядра мікрокапсули, контролюючи проникнення кисню через нього. У випадку летючих ядер проникність стінок є основним фактором для збільшення ймовірності втрати серцевини під час зберігання. Було досліджено пористість висушених розпиленням мікрокапсул, інкапсулюючи безводний молочний жир у суміші лактози та сироваткового білка як систему стінок за допомогою пікнометрії з витісненням газу. У цьому дослідженні гелій і азот використовувалися як проникні гази. Результати показали різницю в способах проникнення гелію та азоту через мікрокапсули. Було видно, що гелій дуже швидко заповнює весь доступний об'єм, тоді як проникнення азоту відбувається порівняно повільніше. Загалом, результати пікнометрії газового витіснення показали наявність пор, що характеризують як мікрокапсули, що містять безводний молочний жир, так і мікрокапсули без серцевини. Мікрокапсули, що містять молочний жир, виявилися більш пористими, ніж ті, які не містять основного матеріалу. Подібні характеристики були отримані для мікрокапсул, що інкапсулюють риб'ячий жир з матеріалами стінок декстрину та казеїнату натрію. Ці мікрокапсули також демонстрували пористість типу молекулярного сита, тобто з порами, які досить маленькі, щоб запобігти проникненню молекул. Також було повідомлено про дослідження мікрокапсул альгінату кальцію, які інкапсулюють пробіотичні бактерії. Для вивчення мікроструктури капсул використовували кріосканuючу електронну мікроскопію (кріо-CEM) та трансмісійну електронну мікроскопію (TEM). Результати SEM виявили відмінності між структурою капсул, що містять бактерії, і капсул без ядра. Було виявлено, що капсули, що містять бактерії, є більш пористими порівняно з капсулами без ядра, що пояснюється тим фактом, що бактерії перешкоджають утворенню перехресних зв’язків альгінату з хлоридом кальцію. Таким чином, для визначення пористості мікрокапсул, пікнометрія з витісненням газу та електронна мікроскопія можуть виявитися дуже важливими інструментами для аналізу мікроструктури капсул, корисними для розробки речовин-носіїв для конкретного матеріалу ядра.

Гідрофобність поверхні можна визначити як фізичну властивість молекули, яка відштовхується від води. Це властивість, яка значною мірою залежить від матеріалу серцевини, який потрібно інкапсулювати, і матеріалу стінки. Мікрокапсули були виготовлені з інкапсуляцією гідролізату казеїну всередині та пектину, результати показали, що гідрофобність зменшувалася зі збільшенням концентрації гідролізату казеїну у складі мікрокапсули. Зі збільшенням концентрації казеїну утворювалося все більше і більше гідрофобних взаємодій між компонентами в середині капсули, що призводило до перетворення гідрофобних груп у ядрі капсул, що, у свою чергу, спричиняло зниження гідрофобності. В іншому дослідженні було виявлено, що глобулярні білки, такі як соєвий і сироватковий білки, які використовувалися як матеріали стінок, утворювали розчинні агрегати через гідрофобні взаємодії на поверхні після обробки під високим тиском. Таким чином, можна побачити, що гідрофобність поверхні є дуже критичним фізичним параметром, який необхідно враховувати під час вибору матеріалу оболонки для інкапсуляції, оскільки властивості матеріалу оболонки мають величезний вплив на гідрофобність мікрокапсул.

11.6.6. Властивості текучості. Мікромеханічні властивості. Теплові властивості. Функціональні властивості

Властивості текучості мікрокапсульованих порошків включають об'ємну щільність, щільність при натисканні, пористість і стисливість. Аналіз насипної щільності та щільності капсул важливий для отримання ємності сформованого порошку під час пакування, зберігання та процесу розподілу. Насипна щільність залежить від щільності частинок, розміру, форми та вмісту води в мікрокапсулі, що, у свою чергу, залежить від матеріалу покриття та техніки, що використовується для інкапсуляції. Залежність насипної щільності від матеріалу покриття було пояснено у дослідженні, де ефірну олію кардамону інкапсулювали за допомогою ізоляту сироваткового протеїну (WPI), гуарової камеді та

карагенану шляхом сублімаційної сушки. Насипна щільність мікрокапсул була найвищою, коли WPI використовувався окремо як матеріал покриття порівняно з комбінацією WPI з гуаровою камідлю та карагеном. У дослідженні об'ємну щільність мікрокапсули олії кориці, інкапсульованої в покриття з мальтодекстрину та гуміарабіку в різних концентраціях, було виміряно за допомогою дуже поширеного методу постукування. І було виявлено, що якщо розмір утвореної мікрокапсули малий, це призведе до більшої масової щільності капсули через зменшення порожнин між частинками. Крім того, вищий рівень води призводить до збільшення ваги матеріалу в контейнері, об'єм залишається незмінним, таким чином, спричиняючи підвищення об'ємної щільності. Олія волоського горіха була мікрокапсульована за допомогою техніки розпилювальної сушки, і результати показали, що зі зниженням тиску розпилення подачі та підвищенням температури повітря на вході об'ємна щільність мікрокапсул зменшилася. Це відбувалось тому, що при підвищенні температури повітря на вході утворювалися мікрокапсули з порожнистою структурою і високою сферичністю. Сипучість утвореного мікрокапсульованого порошку визначається за допомогою двох параметрів, відсотка стисливості або індексу Карра та коефіцієнта Хауснера (HR). Подібні методи були прийняті для визначення плинності мікрокапсул лікопіну. Більш високе значення HR пояснюється тим фактом, що порошок був когезійним, що вказує на високу в'язкість порошку, і був обмежений вільним потоком. Сипучість значною мірою залежить від розміру частинок і розподілу мікрокапсул за розміром, на які, у свою чергу, впливають інші фактори, такі як форма та шорсткість поверхні мікрокапсул. Таким чином, дуже важливо вибрати конкретний матеріал стінки та конкретну техніку інкапсуляції, щоб отримати бажані властивості текучості капсул.

Механічні властивості мікрокапсул залежить від їх мікромеханічних властивостей. Вивчення механічних властивостей мікрокапсул після їх виготовлення є фундаментальною потребою, щоб переконатися, що вивільнення матеріалу ядра відбувається в певну ціль і в певний час, а не раніше. Точніше, у

багатьох харчових продуктах мікрокапсулам потрібна дуже регульована механічна міцність. Механічні властивості мікрокапсул включають модуль пружності, силу розриву, необхідну для розриву капсули, і номінальну напругу розриву, яка дорівнює силі розриву, поділеній на початкову площу поперечного перерізу мікрокапсули. І вони значною мірою залежать від співвідношення ядра та оболонки в капсулі, а також від умов підготовки та обробки, наприклад, різних температур і часу полімеризації та різниці в методах сушіння, таких як сушіння в печі, сушіння розпиленням або сушіння в киплячому шарі. Механічні властивості мікрокапсул також залежать від типу утворених капсул, наприклад від того, чи є вони багатостінними чи одностінними. Наприклад, існує нова техніка, яка називається пошарове (LBL) осадження матеріалу оболонки, яка передбачає адсорбцію різних біополімерів, таких як полісахарид і певні білкові фібрили, в альтернативних шарах, де перший є гнучким, а другий жорстким, що призводить до властивостей капсул, які залежать від застосування. У такій техніці механічна міцність капсул залежить від кількості адсорбованих шарів, а також від гнучкості та жорсткості біополімерів. Розвиваються численні методи характеристики механічних властивостей мікрокапсул, виготовлених із полімерних матеріалів, тому першочерговим завданням є визначення потенціалу, а також обмежень різних методів. Методи визначення механічних властивостей оболонки перевіряються або на самій мікрокапсулі, або на макроскопічних поверхнях. Вони, тобто мікрокапсульної популяції, включають стиснення між пластинами та тест на осмотичний тиск. Тоді як методи визначення характеристик окремих мікрокапсул включають атомно-силову мікроскопію, мікропіпеткову аспірацію та мікроманіпуляції.

Механічні властивості мікрокапсул можна визначити шляхом застосування до них сили розтягування та зсуву в текучій рідині. Для цієї мети використовуються обертові ножичні пристрої. Ці обертові зсувні пристрої мають прозорі концентричні циліндри з вузьким зазором між ними, в які розливається дуже розбавлена дисперсія мікрокапсул. Мікрокапсули в дисперсії деформуються таким чином, що вони утворюють кут із напрямком потоку, коли

дисперсія піддається постійному зсуву. Ступінь деформації, а також орієнтація мікрокапсул дає їх механічну характеристику.

Метод осмотичного набухання. Для мікрокапсул, які мають водопроникну оболонку та водне ядро, їх механічну характеристику можна провести за допомогою цього методу. У цьому методі мікрокапсули вступають у контакт із водним високомолекулярним полімером із безперервною фазою. Різниця в осмотичному тиску між внутрішньою та зовнішньою фазами створюється через різницю в хімічному потенціалі води між двома фазами. І коли концентрація зовнішнього полімеру дуже висока, починає відбуватися міграція води з внутрішньої водної фази в зовнішню, поки не буде досягнуто рівного хімічного потенціалу з обох сторін. У результаті цього руху води відбувається усадка капсули, що призводить до зминання оболонки. Щоб спостерігати такі явища, використовується лазерна мікроскопія. Визначається критичний осмотичний тиск, необхідний для зминання, і характеристика оболонки виконується шляхом нанесення цього критичного тиску на графік залежно від товщини стінки капсули.

Метод, заснований на тепловому розширенні. Цей метод використовується для механічної характеристики мікрокапсул з маслянистим ядром. Він дійсний лише тоді, коли коефіцієнт теплового розширення матеріалу ядра більше, ніж у матеріалу оболонки, а також у безперервній фазі, в якій диспергування капсули. У цій техніці капсули диспергують у безперервній фазі та спостерігають під мікроскопом із термічним столиком. Дисперсія піддається впливу температури, яка постійно зростає з фіксованою швидкістю. Ядро капсули розширюється більше, ніж оболонка та безперервна фаза, що призводить до накопичення напруги всередині капсули. Так триває до тих пір, поки вони не розірвуться. Після розриву 90% капсул реєструється температура, а також час, необхідний для розриву.

Термічні властивості мікрокапсул є одними з найважливіших властивостей, які необхідно вивчати, щоб визначити їх стабільність при зберіганні, а також швидкість вивільнення. Їх можна отримати методом

диференціальної скануючої колориметрії. У цій техніці в приладі є окремі тримачі для зразка та еталону. Присутні нагрівачі, які або підвищують температуру з певною швидкістю, або утримують колориметр при заданій температурі. Прилад вимірює різницю теплового потоку між еталонним і зразком. Визначення теплових властивостей капсул є вирішальним для вказівки правильної температури зберігання, а також для вказівки температури, при якій потрібно обробляти їжу, що містить мікрокапсули.

Окрім фізичних, механічних і термічних властивостей мікрокапсул, функціональні властивості також дуже важливі, особливо при використанні мікрокапсул для розробки нового продукту з додатковими функціональними властивостями.

Розчинність. Оцінка розчинності мікрокапсул в основному виконується для визначення поведінки мікрокапсул у воді або будь-якому іншому середовищі, тобто, чи виділяється матеріал ядра в цьому середовищі чи ні. Розчинність – це властивість мікрокапсул, яка пов'язана з типом матеріалу стінки, який використовується для інкапсуляції, а також з технікою, що використовується для виробництва мікрокапсул. Розчинність мікрокапсул, що містять гідролізат казеїну в ізоляті соєвого білка і пектин, була дуже низькою навіть після замочування у воді протягом 24 годин. Це підтвердило, що метод, тобто коацервація для виробництва мікрокапсул, а також використовувані інкапсулюючі агенти призвели до виробництва мікрокапсул, які є дуже стабільними у водному середовищі, а також які мають сприятливі властивості контрольованого вивільнення. Розчинність також залежить від концентрації матеріалу ядра, який використовується для інкапсуляції, оскільки розчинність здатна прогресивно зростати зі збільшенням концентрації гідролізату казеїну в мікрокапсулах. Такі результати пояснювали тим фактом, що ефективність інкапсуляції знижується зі збільшенням рівня гідролізату казеїну.

Поверхневий натяг. Поверхневий натяг в основному визначається як властивість поверхні рідини поводитися як розтягнута еластична мембрана. Сили когезії або міжфазні сили на рідинній мембрані відповідають за це явище.

Міжфазні сили керують такими явищами, як змочування твердих тіл рідинами. Встановлено, що поверхневий натяг мікрокапсул значною мірою залежить від матеріалу стінки, який використовується.

Гігроскопічність. Мікрокапсули під впливом середовища з високою відносною вологістю мають тенденцію поглинати вологу з навколишнього середовища, і ця властивість називається гігроскопічністю. Це визначає стабільність основного матеріалу. Гігроскопічність мікрокапсули значною мірою залежить від типу матеріалу стінки, який використовується для утримання матеріалу ядра, тобто від того, наскільки він гігроскопічний. Наприклад, для мікрокапсулювання олій і певних ароматизаторів використовується матеріал стінки, який є менш гігроскопічним. Цю властивість мікрокапсул під час зберігання можна визначити за допомогою ізотерм сорбції. Мікрокапсули, виготовлені з гуміарабіку, показали значно вищу адсорбцію води, тоді як мікрокапсули, виготовлені з ізоляту сироваткового протеїну, показали найнижчу гігроскопічність. Таку властивість можна пояснити різною хімічною структурою використовуваних стінових матеріалів. Гуміарабік має більше розгалужень із гідрофільними групами, які можуть легко зв'язуватися з молекулами води, тоді як сироватковий білок має менше таких груп для взаємодії з водою, що призводить до нижчої гігроскопічності мікрокапсул. Таким чином, вибір матеріалу стінки істотно вплине на гігроскопічність отриманих мікрокапсул.

Ефективність інкапсуляції Ефективність інкапсуляції визначається як кількість матеріалу серцевини, який інкапсульовано в матеріалі стінки, порівняно з концентрацією серцевини, яка використовувалася для інкапсуляції за допомогою певної техніки. Це залежить від концентрації основного матеріалу, який використовується для інкапсуляції. Зі збільшенням рівня основного матеріалу ефективність інкапсуляції має тенденцію до зниження. Ефективність інкапсуляції визначали центрифугуванням мікрокапсул і оцінкою вмісту білка (вмісту гідролізату казеїну) за допомогою біурето-спектрофотометричного методу.

Загальний вільний гідролізат – білок у надосадовій рідині, який не бере участі в утворенні мікрокапсул. А загальний гідролізат – це кількість білка у рецептурі. Інший метод визначення ефективності інкапсуляції певних олій, передбачає використання розчинників, таких як гексан. Порошок змішують із розчинником, таким як гексан, для вилучення вільної олії, яку потім фільтрують через фільтрувальний папір. Після того як порошок отримають на фільтрувальному папері, його кілька разів промивають гексаном і витримують для сушіння при кімнатній температурі, потім при 60 °C для випаровування розчинника. Після отримання постійної ваги поверхнева нафта визначається шляхом віднімання ваги первинної чистої скляної ємності з ваги, яка містить видобутий нафтовий залишок.

Залежність ефективності інкапсуляції від техніки, що використовується для інкапсуляції, а також матриць або матеріалів покриття можна спостерігати за результатами, де капсули утворені з чотирьох різних комбінацій матриць (МС), а саме, МС -1, МС-2, МС-3 і МС-4 мали різну ефективність інкапсуляції. Із трьох методів, які використовувалися для інкапсуляції, сублімаційна сушка показала найнижчу ефективність, за якою слідують розпилювальна сушка та розпилювальна грануляція. Вимірювання ефективності інкапсуляції вважається найважливішим фактором, оскільки воно лише визначає, чи доставляється певна функціональність інкапсульованого компонента в харчову матрицю чи ні.

Мікрокапсуляція вважається ефективною лише якщо матеріал серцевини захищений до тих пір, поки не буде бажаним його вивільнення. Існують різні механізми, які використовуються для вивільнення основного матеріалу. До них належать деградація, дифузія, розчинення, застосування тиску та зміна температури та pH. Використовувані механізми базуються на властивостях серцевини та матеріалу стінки. Деякі з методів описано нижче.

Дифузія ядра зазвичай відбувається, коли стінка мікрокапсули неушкоджена, а рідина проникає крізь стінку, розчиняється в ньому, матеріалі ядра та розсіюється через пори.

Розчинення. Тут вивільнення ядра залежить від розчинності матеріалу стінки в рідині для розчинення. Стінка більше не залишається цілою при контакті з рідиною, вона розчиняється і вивільняє ядро. Швидкість вивільнення залежить від властивостей матеріалу стінки та рідини для розчинення, а також товщини стінки.

Осмос. Під час осмотичного вивільнення матеріалу ядра стінка мікрокапсули поводиться як напівпроникна мембрана, що дозволяє розвивати різницю осмотичного тиску з обох боків стінки. Завдяки цій різниці тиску матеріал ядра рухається зсередини капсули назовні.

Деградація. У цьому методі вивільнення ядра такі ферменти, як протеази та ліпази, використовуються для розкладання білків і ліпідів у матеріалі стінки, отже, руйнування стінки та вивільнення ядра.

Зміна pH. Зміна pH може призвести до вивільнення ядра, оскільки це може вплинути на розчинність матеріалу стінки. Матеріал стінки може бути таким, що він залишається недоторканим у кислих умовах, водночас розчиняючись шляхом зміни pH, що призводить до лужних умов.

Зміни температури. Вивільненню ядра можна сприяти зміною температури, якій піддаються мікрокапсули. Для опосередкованого температурою вивільнення серцевини задіяні два різні механізми: (a) один називається чутливим до температури вивільнення, коли матеріал стінки такий, що він руйнується, коли він піддається впливу температури, відомої як критична температура, за межами якої він не може бути стабільним і розширюється. (b) Інший механізм називається вивільненням, активованим термоядерним синтезом, при якому матеріал стінки починає плавитися, коли він піддається дії підвищеної температури, і, отже, вивільняє серцевину.

Щоб вивчити стабільність мікрокапсул за різних умов температури та pH, а також визначити, наскільки ефективним є матеріал покриття та метод інкапсуляції для захисту ядра під час зберігання, проводяться дослідження кінетики розкладання мікрокапсул. Під час проведення таких досліджень відома

кількість мікрокапсул зберігається в контрольованих умовах і виймається через регулярні проміжки часу для визначення деградації вмісту ядра.

11.7. Застосування мікрокапсуляції щодо харчової промисловості

Мікрокапсуляція довела і надалі вважається ефективним інструментом у створенні нових харчових продуктів із численними функціональними властивостями, якщо дивитися з промислової точки зору. Технологія мікрокапсулювання широко використовується в деяких комерційних харчових продуктах, таких як соки, шоколад, продукти з м'яса та птиці тощо. Технологія мікрокапсулювання має повний потенціал для подальшого розширення в найближчому майбутньому, що призведе до розробки багатьох більш функціональних харчових продуктів, таким чином сприяючи зростанню харчової промисловості. Однак виробництво мікрокапсул для застосування в харчовій промисловості є дуже складним через багато причин, як-от труднощі з розширенням масштабу процесу та різке збільшення витрат на виробництво, що діє як обмеження економічної життєздатності процесу. Крім того, незважаючи на величезну сферу використання в їжі, складність завжди переважає, оскільки сама їжа є складною матрицею. Під час капсулювання харчових інгредієнтів існує кілька обмежень у виборі матеріалів стінок, оскільки вони мають бути харчового класу або загальновизнаними безпечними. Коли матеріал серцевини інкапсульований, його взаємодію з матеріалом стінки, стабільність у різних харчових матрицях, де він використовується як інгредієнт, під час обробки їжі, необхідно правильно розуміти. Іншою важливою проблемою є вивільнення основного матеріалу у відповідному місці під час травлення, і це вимагає глибокого розуміння механізмів розпаду їжі та інкапсульованого матеріалу в травному тракті людини. І всі ці труднощі необхідно подолати без шкоди для сенсорних якостей харчових продуктів. Отже, при виборі матеріалу покриття для інкапсуляції слід уважно звернути увагу на співвідношення ядра та матеріалу покриття, метод інкапсуляції. Крім того, необхідно провести ретельну оцінку

властивостей мікрокапсул перед введенням у будь-яку харчову матрицю. Тільки тоді це приведе до успішного впровадження технології.

11.8. Приклади інноваційного пакувального обладнання

Впровадження нових технологій в упаковку харчових продуктів зробило ринок упаковки динамічним. Це передбачає багато змін, серед іншого, у перевірці придатності нових матеріалів у промислових умовах, особливо з точки зору їх впливу на якість та безпеку упакованих харчових продуктів. Перспективним напрямком є використання для цього природних полімерів, що дає можливість вирішити проблеми, пов'язані з утворенням величезної кількості відходів харчовою промисловістю. Проте включення природних біоактивних речовин в упаковку дає можливість продовжити термін придатності харчових продуктів та/або зменшити використання харчових консервантів. Це відкриває широке поле для досліджень завдяки численності речовин і спектру їх впливу, а також властивостям упакованого продукту.

Пакувальна машина VTI 400 ULMA (рис. 29) – це вертикальна машина для заповнення та запечатування форм, що переривається, для пакування багатьох видів продуктів. Основною характеристикою машини є гнучкість і універсальність для виробництва широкого діапазону типів і розмірів упаковок, здатних зосередитися на харчовому або нехарчовому застосуванні. Розробка була зосереджена на створенні міцної, надійної та інтуїтивно зрозумілої машини, яка використовує механічні приводи, керовані двигунами змінного струму, електричні компоненти останнього покоління та промисловий ПК із зручним сенсорним екраном із піктограмами.

Крім того, машина має широкий спектр опцій залежно від продукту та вимог замовника, що завжди гарантує найкраще рішення.

Готове м'ясо має надходити з максимально можливим терміном зберігання. Підноси, обгорнуті ПВХ, створюють вигляд «м'ясної крамниці», але оскільки ПВХ є дихаючою плівкою, термін придатності не підтримується сам по

собі. Системи можуть групувати лотки та автоматично завантажувати їх у пакет із зміненою атмосферою з максимальним терміном придатності продукту, доки вони не будуть виставлені для покупки.

Рис. 29. Пакувальна машина VTI 400 ULMA [26]

Технічні характеристики

- Затискач поперечного ущільнення з приводом змінного струму.
- Тягові ремені, що приводяться в дію двигуном змінного струму та універсальними шарнірами.
- Каркасна конструкція закритої конструкції.
- Цільна плівка.
- Промисловий ПК з сенсорним екраном (B&R 5").
- Можливість програмування даних для 100 елементів.

- Функції машини інтегровані в екран.
- Автоматичне виявлення несправностей у температурі зварювання та тиску повітря в машині, що гарантує хороше зварювання протягом усього часу.
- Ключовий контрольований доступ до різного рівня оператора.
- Виявлення перешкод горизонтального ущільнення.
- Автоматичне визначення кінця рулону плівки.
- Моторизоване центрування тримачів рулонів плівки.
- Простий інтерфейс з периферійним обладнанням.
- Розроблено та виготовлено відповідно до правил безпеки (98/37/CEE).

Виробник – **Grupo ULMA S. Coop., Іспанія**

Особливості конструкції

- Версія з нержавіючої сталі.
- Версія з нахилом 45º.
- Стіл для з'єднання плівки для швидкої заміни рулонів.
- Система реєстрації друкованої плівки.
- Система впорскування газу для упаковки в модифікованій атмосфері.
- Система вакуумної стрічкової подачі плівки.
- Спеціальні поліетиленові губки для високошвидкісних робіт.
- Моторизоване відстеження плівки + контроль натягу плівки.
- Рулон плівки з автоматичним самоцентруванням.
- Статичні елімінатори.
- Вібратор мішка для осідання продукту.
- Пакет із плоским дном із центральним або боковим ущільненням.
- Спеціальні форми ножів для легкого відкриття.
- Стринги або подвійна сумка.
- Системи пробивання єврозамків і ручок.
- LAN Ethernet підключення.
- Кодери, етикетувальники.
- Диспенсер на блискавці.
- Стрічки вивантаження продукту.

Модель TFS 500 ULMA (рис. 30) є частиною нової лінії ULMA TFS Thermoforming. Це абсолютно нова концепція конструкції машини. Компанія ULMA переробила кожну секцію термоформувальної машини, щоб перевершити суворі вимоги до гігієни та глибокого очищення, яких вимагає сучасна індустрія упаковки харчових продуктів і медичного обладнання.

Характеристики машини роблять її дуже бажаною для вимог змішаного виробництва, оскільки формати можна легко змінювати відповідно до потреб замовника. Універсальність, простота експлуатації та швидка зміна розміру також роблять його придатним як допоміжний пристрій для малотиражних продуктів, здатний як до гнучкої, так і до жорсткої упаковки до 700 мкм.

Рис. 30.Термоформувальна пакувальна машина TFS 500 ULMA [27]

Особливості конструкції

- Модульна конструкція.
- Рама з нержавіючої сталі.
- Стандарт безпеки згідно з правилами "ЄС".
- Модульна машина, яка може бути збільшена в залежності від проекту.
- Легкий доступ до внутрішніх компонентів машини завдяки знімним бічним кришкам.
- Для машин доступні додаткові штампи.

Простота обслуговування

- Мінімальне обслуговування.
- Програма обслуговування, інтегрована в панель управління.
- Управління дистанційною підтримкою (RSM). Підключення здійснюється через Ethernet з доступом http (інтернет).
- Оригінальні комерційні компоненти найвищого рівня.

Виробник – **Grupo ULMA S. Coop., Іспанія**

Високопродуктивні багатоцільові машини. З довгим списком спеціальних пристроїв, розроблених для задоволення потреб кожного продукту, який потрібно запакувати, виробничих вимог і специфікацій упаковки, ці моделі машин можуть відповідати всім типам потреб у пакуванні.

Найпоширеніші варіанти

- Системи дозування та завантаження продукту.
- Візок для тримача матриці/котушки.
- Пакетні конвергери.
- Системи кодування та друку.
- Перевірка герметичності UST (тестер герметичності ULMA).
- Металошукачі.
- Інтеграція в кінці рядків.

Термоформувальні машини серії TFE ULMA (рис. 31) для харчової та нехарчової упаковки зі спеціальними пристосуваннями, зосередженими на одноразових медичних виробах, здатних як до гнучкої, так і до жорсткої упаковки. Доступні додаткові вакуумні та газові системи для створення (MAP) модифікованої атмосфери. Вони виготовлені зі стійких до корозії матеріалів і повністю виготовлені з нержавіючої сталі. Усі їхні функціональні модулі розроблено таким чином, щоб забезпечити їм міцність, а також високу експлуатаційну надійність, що дозволяє адаптувати їх до різних форматів і виробничих вимог.

Рис. 31.Термоформувальні машини серії TFE ULMA [28]

Функціональні особливості:

Легка зміна формату.

Система управління UPC:

- 7-дюймовий кольоровий сенсорний дисплей.
- Легкий і зручний для користувача.
- Підтримка кількох мов і всіх типів символів (кирилиця, арабська мова, та інші).
- Програми керування та відображення, які легко оновлюються (USB або Ethernet).

Резервне копіювання на флеш-накопичувачі.

- Захист доступу з 3 рівнями дозволу.
- Віддалений перегляд і система управління.
- Відображення поточної швидкості на основі моніторингу часу кожної станції.

Особливості конструкції:

Модульна конструкція.

Рама з нержавіючої сталі.

Стандарт безпеки згідно з правилами "ЄС".

Модульна машина, яка може бути збільшена в залежності від проекту.

Легкий доступ до внутрішніх компонентів машини завдяки знімним бічним кришкам.

Для машин доступні додаткові штампи.

Простота обслуговування:

Мінімальне обслуговування.

Програма обслуговування, інтегрована в панель управління.

Управління дистанційною підтримкою (RSM). Підключення здійснюється через Ethernet з доступом http (інтернет).

Оригінальні комерційні компоненти найвищого рівня.

Високопродуктивні багатоцільові машини. З довгим списком спеціальних пристроїв, розроблених для задоволення потреб кожного продукту, який потрібно запакувати, виробничих вимог і
специфікацій упаковки, ці моделі машин можуть задовольнити будь-які потреби в упаковці.

Найпоширеніші варіанти:

Системи дозування та завантаження продукту.

Візок для тримача матриці/котушки.

Пакетні конвергери.

Системи кодування та друку.

Перевірка герметичності UST (тестер герметичності ULMA).

Металошукачі.
Інтеграція в кінці рядків.

Виробник – **Grupo ULMA S. Coop., Іспанія**

Нова машина для пакування MAP у високошвидкісній модифікованій атмосфері ULMA (рис. 32), здатна пакувати до 250 продуктів/хв. В основному призначені для застосування у секторах м'яса, сиру, готової їжі та хлібобулочних виробів, серед іншого, де потрібна гарантія та безпека, коли справа доходить до упаковки, з модифікованою атмосферою чи без неї. Машина оснащена поперечною зварювальною головкою LD (Long Dwell), яка завдяки тривалому часу зварювання та поворотному руху здатна гарантувати герметичність упаковки на високих рівнях виробництва. В результаті вузол машини є надзвичайно міцним і надійним, що необхідно для гарантування належної роботи на цих рівнях виробництва. Ця нова модель була розроблена, щоб відповідати вимогам гігієни та чистоти цільових секторів, включаючи високостійкі до корозії та водонепроникні елементи, а також конструкції, які мінімізують точки, де можуть накопичуватися залишки та бруд.

Управління машиною здійснюється через промисловий ПК із 10-дюймовим сенсорним екраном HMI, що полегшує її використання оператором за допомогою графічних піктограм і підключення машини до продуктивного середовища.

Рис. 32. Машина для пакування MAP у високошвидкісній модифікованій атмосфері ULMA [29]

Технічні особливості:

- Електронна машина з незалежними серводвигунами, які синхронізуються електронно.
- Рама з нержавіючої сталі в гігієнічному дизайні з вбудованою окремою електричною шафою.
- Система подачі з конструкцією «Відкрита рама», що миється, так що її можна очистити безпосередньо струменем води.
- Тримач бобіни з переднім завантаженням із пневматичною системою кріплення бобіни для полегшення завантаження рулону плівки.
- Система поздовжнього зварювання, розроблена для досягнення герметичного зварювання на високій швидкості, із системою регулювання для різних плівок від HMI.
- Система перехресного ущільнення за допомогою ущільнювальної головки "Long Dwell", призначена для досягнення герметичних ущільнень при високій продуктивності.
- Панель керування машиною розташована на рухомому кронштейні для полегшення доступу оператора. Оснащений 10-дюймовим кольоровим сенсорним екраном для полегшення використання оператором

Основні варіанти:

- Версії з верхньою та нижньою котушками.
- Версії для різних плівок (ламіновані бар'єрні плівки, бар'єрні термоусадочні плівки BDF тощо)
- Вбудовані системи аналізатора залишкового кисню.
- Система "Easy-Tape" для полегшення автоматичної зміни котушки.
- Різні системи автоматичної подачі
- Ethernet-з'єднання для збору даних, VNC, систем керування виробництвом тощо.

Виробник – **Grupo ULMA S. Coop., Іспанія**

Компанія *Inox Meccanica (Італія)* спеціалізується на розробці та виробництві промислового обладнання для переробки м'яса. Асортимент продукції включає як окремі машини, так і комплексні виробничі лінії, що задовольняють різноманітні потреби обробки. Пропонуються системи формування, пресування та підвішування м'яса, розчини для посолу, машини для обв'язування еластичним та нееластичним шпагатом, а також обладнання для консервування та сушіння. Пакувальні машини Inox Meccaniса можуть бути автоматичними або напівавтоматичними і в основному використовуються для пакування продуктів для приправ або приготування їжі. У лінійці пакувальних машин Inox Meccaniса особливе місце займають автоматичні пакувальні машини, такі як PIC 99 BCE або PIC 99 DRW, які використовуються для упаковки в попередньо перфоровану синтетичну оболонку, сітку, панчоху або одночасно і оболонку, і сітку, напівфабрикати; автоматичні машини для набивання та спеціальні машини для пакування і кліпсування в сітку брезаоли (сиров'ялена м'ясна вирізка, страва італійської кухні), салямі, коппи (сиров'ялена свиняча шия) та аналогічних продуктів.

Автоматична машина для пресування, набивання і кліпсування PIC99 (рис. 33). Ідеальне рішення для формування начинки, натягу та кліпсування анатомічних продуктів, таких як бекон, коппі, брезаол, шинка, корейка, печення в целюлозній, колагеновій, пластиковій та еластичній оболонці. Крім того, за допомогою PIC99 можна суттєво знизити вартість упаковки за рахунок менших відходів оболонки та сітки. Нарешті, PIC99 є найкращим рішенням на ринку для

виробництва довгого м’ясного бруска для покращення та збільшення виходу при нарізці. PIC99BA-S оснащений автоматичною системою подачі формувальних форм, в які безпосередньо поміщають м'ясо. Машина PIC99BA-N, оснащена модульною подавальною стрічкою, спеціально призначеною для набивання великих м’язів, які не вимагають особливого розташування всередині форми.

Автоматична машина для пресування, набивання і кліпсування PIC99 є яскравим прикладом для виробництва анатомічних м’язів, автоматично упакованих у їстівну плівку та сітку, таких як окіст, лопатки, курка, індичка та інші шматки м’яса в цілому (рис. 33). Формувальні форми створюються спеціально залежно від типу їстівної плівки (колаген, Nutrafilm® тощо) і розміру, завжди відповідно до потреб клієнтів.

Рис. 33. Автоматична машина для пресування, набивання і кліпсування PIC99 [30]

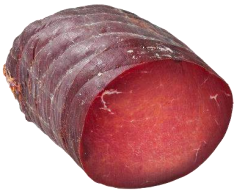
Функції

• Автоматичний змінник трубок.
• Стрічковий конвеєр автоматичного завантаження.
• Електричний штовхач.
• Нова система завантаження кліпів.
• Інтегрована система підключення.

Технічні характеристики:
Продуктивність, кг – 2500.
Потужність, кВт – 7.
Електроживлення – 400/480 В, 50/60 Гц.
Габаритні розміри, мм – 7425x2675x2524
Маркування *CE* – європейська відповідність – (спеціальний знак, який наноситься на виріб).
Виробник: Inox Meccanica. Італія.

Сиров'ялена шинка (коппа)

Шинка з свинини (панчета)



Свиняча грудинки (брезаола)

Сиров'ялена м’ясна вирізка

Вітчина копчена (спек)

Корейка

Рис. 34. Окремі зразки продукції, що виробляється за допомогою автоматичних машин PIC99 [31]

Автоматична машина для пресування, набірки і автоматичного кліпсування з ящиком PIC 99 DRW (рис. 35) це машина, яка призначена для набивання шматочків м’яса або ін’єкційних м’язів у оболонку. Завдяки системі зважування з високоточними тензодатчиками та дисплеєм можна контролювати загальну вагу вставлених частин. Це дає можливість отримувати бруски постійної довжини. Під час операцій, пов’язаних із набиванням і обрізанням, оператор може використовувати ящик для підготовки продукту, щоб скласти новий брусок, таким чином скорочуючи час набивання.

Рис. 35. Автоматична машина для пресування, набірки і автоматичного кліпсування з ящиком PIC99 DRW [32]

Функції

• Автоматичний змінник трубок.
• Система зважування продукту.
• Ящик для підготовки продуктів.
• Стрічковий конвеєр автоматичного завантаження.
• Електричний штовхач.
• Нова система завантаження кліпів.
• Інтегрована система підключення.

Технічні характеристики:

Продуктивність, кг – 2500.
Потужність, кВт – 7.
Електроживлення – 400В, 50 Гц.
Габаритні розміри, мм – 7478x1994x2620.
Маркування *CE* – європейська відповідність.
Виробник: Inox Meccanica. Італія.

Прес, набивальна і кліпсаційна машина для ломо, PIC LOMO (рис. 36) - це машина, спеціально розроблена для іспанського ринку, а саме для фаршірування ломо, типової ковбаси, що виробляється у великих кількостях з

м'яса іберійської породи свиней, або свиней породи дюрок. Головною з особливостей ломо є дуже яскравий смак, який складно сплутати з іншим. Наявність у складі великої кількості перцю, солі та часнику дозволяє використовувати ломо як закуску, подаючи її нарізаною шматочками у м'ясному асорті. У ковбаси благородний яскраво-червоний відтінок м'яса всередині та світліший зовні, це пояснюється паприкою, яка додається у виріб. Невелика кількість цукру в м'ясі лише посилює приємний смак. Якість легко перевірити, подивившись на плісняву - вона повинна бути сухою, в жодному разі не сирою, липкою або слизькою. Всі іспанські виробники використовують напівавтоматичні машини для наповнення ломо, оскільки ця анатомічна частина дуже ніжна і якщо на неї натиснути сильніше, ніж слід, можуть виникнути тріщини (розриви м'язової тканини) в поздовжньому напрямку з подальшим ризиком інфільтрації. під час процесу затвердіння, які виявляються у вигляді дефектів готового продукту.

Рис. 36. Прес набивальна і кліпсаційна машина для ломо, PIC LOMO [33]

Щоб мати можливість повністю автоматизувати цей процес, не стикаючись з описаною вище проблемою, Inox Meccanica розробила і запатентувала нову машину, яка автоматично виконує ті ж дії, які оператор виконує за допомогою традиційних машин.

Функції:
• Автоматична система розмотування оболонки.
• Система замочування оболонки з регульованою температурою.
• Стрічковий конвеєр автоматичного завантаження.
• Електричний штовхач.
• Нова система завантаження кліпів.
• Інтегрована система підключення.

Технічні характеристики:
Продуктивність, кг – 2500.
Потужність, кВт – 9.
Електроживлення – 400/480 В, 50/60 Гц.
Габаритні розміри, мм – 8090x2180x2310.
Маркування *CE* – європейська відповідність.
Виробник: Inox Meccanica. Італія.

Напівавтоматичні формувально-набивальні машини P600/P800 XP (рис. 37) є результатом тридцятирічного досвіду роботи з машинами цього типу. P600 XP може використовувати форми, ширина яких може змінюватись від мінімум 70 мм до максимум 180 мм. Також можливе постачання овальних форм для особливих продуктів, таких як брезаоли з яловичини. Заміна прес-форми і аксесуарів дуже проста та швидка. Робота машини електропневматична. Максимальна довжина продукту, який має бути упакований, становить 500 мм для стандартної версії, а для більш довгих продуктів спеціально розроблена модель P800. Вона має вантажопідйомність для продуктів вгору довжиною до 800 мм. Машина сконструйована повністю з нержавіючої сталі. Доступні аксесуари для кожної моделі: автоматична перегородка для формування кінцівок в продукт; довгий або короткий пластинчастий конус, відповідно до моделі;

довга або коротка набивна трубка, відповідно до моделі. Для оболонок можна використовувати синтетичні та натуральні матеріали. Відповідають європейським машинам в області безпеки, шуму і гігієни.

Цикл роботи наступний:

- розміщення виробу всередині формувальної форми;
- закриття завантажувальних дверей з відповідним контролем;
- формування виробу;
- наповнення продукту;
- вправляння циліндр і штовхач преса;
- автоматичне відкриття завантажувальних дверцят, щоб розмістити новий вихідний продукт.

Рис. 37. Напівавтоматичні формувально-набивальні машини P600/P800 XP [34]

Функції:

- Універсальний.
- Настроювані форми.
- Легко мити.
- Проста заміна компонентів.
- Інтегрована система підключення.

Технічні характеристики:

Продуктивність, кг – 420.
Потужність, кВт – 0,25.

Електроживлення – 110/240 В – 50/60 Гц.
Габаритні розміри, мм – 3660x895x1448.
Маркування *CE* – європейська відповідність.
Виробник: Inox Meccanica. Італія.

Автоматична пакувальна машина IR 115 LE (рис. 38) в сітку для салямі, коппи та аналогічних продуктів. Стандартна система може упаковувати ковбаси в еластичну та нееластичну сітку діаметром від 70 до 170 мм та довжиною 1200 мм. Крім того, за допомогою систем, виготовлених на індивідуальне замовлення, можна упаковувати різні типи продуктів у мережі. Залежно від діаметра виробу на верстат слід поставити відповідне обладнання, його легко вставляти та замінювати. Продукт також має бути упакований у синтетичну оболонку.

Рис. 38. Автоматична пакувальна машина IR 115 LE [35]

Фази циклу:

- Завантаження салюмі (ковбасні вироби) в машину може здійснюватися автоматично, за допомогою автоматичного конвеєра або вручну оператором;

- Датчик визначає окремий виріб на початку циклу і слідує за ним послідовно:
- упаковка у сітку;
- обрізання кожної частини з додаванням за бажанням петлі для підвішування;
- обрізання мережі;
- вихід продукту.

Технічні характеристики:

Продуктивність, кг – 1200.
Потужність, кВт – 2,5.
Електроживлення – 380 В – 50 Гц.
Габаритні розміри, мм – 5934х2570х2165.
Маркування *CE* – європейська відповідність.
Виробник: Inox Meccanica. Італія.

***Автоматична кліпсаційна машина, CLXP** 260* (рис. 39). Ключовою особливістю CLXP 260 є її гнучкість: можна швидко і легко запакувати безліч продуктів, просто замінивши наповнювальну трубку. Фактично, CLXP 260 може бути обладнана для роботи просто з оболонкою, з оболонкою та сіткою або, завдяки спеціальному дозатору, зі їстівною плівкою та сіткою. Крім того, CLXP 260 може поставлятися зі спеціальним пристроєм, який одночасно застосовує оболонку та еластичну сітку, щоб зберегти продукт якомога сформованішим під час наступного циклу або полегшити підвішування продукту за петлю (навіть для важких продуктів). Ці машини можуть начиняти продукти для приготування за допомогою варіння або відділення або для приправи в більшість доступних оболонок. CLXP 260 ідеально підходить для консервованих продуктів, особливо для таких продуктів, як печення, салямі, мортаделла (варена свиняча ковбаса) та композитні матеріали в цілому.

Функції:

• Універсальність
• Ефективність
• Легко мити
• Проста заміна компонентів
• Інтегрована система підключення

Рис. 39. Автоматична кліпсаційна машина, CLXP 260 [36]

Технічні характеристики:

Продуктивність, кг – 900.
Потужність, кВт – 1,0.
Електроживлення – 400 В – 50 Гц.
Габаритні розміри, мм – 2935х1105х2203.
Маркування *CE* – європейська відповідність.
Виробник: Inox Meccanica. Італія.

Питання для самоконтролю

1. Які методи пакування м’яса і продуктів на його основі вважаються сьогодні інноваційними і прогресивними?
2. Що означає термін «активне пакування», з якою метою його запроваджують у м’ясному виробництві?

3. Які сучасні пакувальні матеріали застосовуються з метою довгострокового збереження м’ясних виробів?
4. Яку рол відіграють природні полімери в харчовій упаковці?
5. У чому полягає новітній способ виготовлення пакувального засобу з назвою «електорпрядіння»?
6. Яким чином доставляються у внутрішнє пакувальне середовище антиоксидантні та антимікробні сполуки?
7. Що таке мікрокапсуляція і як вона впливає на довгострокове збереження м’ясних продуктів?
8. У чому полягає техніка мікрокапсуляції?
9. Яким має бути пакувальне обладнання?

Рекомендована навчальна література

1. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
2. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
3. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств : підручник / І. Г. Бабанов та ін. ; Національний університет харчових технологій. Київ : Сталь, 2015. 599 с.
4. Поперечний, А. М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник / А. М. Поперечний, В. О. Потапов, В. Г. Корнійчук. Донецький національний університет економіки і торгівлі, Харківського державного університету харчування і торгівлі. Київ : ЦУЛ, 2012. 312 с.
5. Toldrá, F. (ed.). Handbook of meat processing. John Wiley & Sons, 2010. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/mbpcgh
6. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
7. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
8. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олаборі] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

Розділ 12. СПОЖИВАННЯ М'ЯСА, ЗДОРОВ'Я ТА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

12.1. Нинішнє та майбутнє споживання м'яса

Глобальне середнє споживання м’яса на душу населення та загальна кількість спожитого м’яса зростає завдяки зростанню населення та середнього індивідуального доходу. Темпи зростання різняться в різних регіонах, причому споживання в країнах з високим рівнем доходу залишається або знижується, а в країнах із середнім доходом помірно або сильно зростає, тоді як у країнах з низьким рівнем споживання м’яса в середньому є низьким і стабільним. Особливо помітно зросло світове споживання курятини та свинини. Споживання різних видів м'яса та м'ясних продуктів має значний вплив на здоров'я людей, а тваринництво може мати серйозні негативні наслідки для навколишнього середовища.

М’ясо є хорошим джерелом енергії та деяких основних поживних речовин, включаючи білок і мікроелементи, такі як залізо, цинк і вітамін B_{12}, хоча можна отримати достатнє споживання цих поживних речовин, не вживаючи м’яса, якщо вживати широкий спектр інших продуктів. наявні та спожиті. У західних країнах з високим рівнем доходу великі перспективні дослідження та мета-аналіз загалом показують, що загальні показники смертності дещо вищі серед учасників, які споживають велику кількість червоного та обробленого м’яса. Найвагомішим доказом специфічного несприятливого ефекту є підвищений ризик колоректального раку при споживанні великої кількості обробленого м’яса.

М’ясо виробляє більше викидів на одиницю енергії порівняно з продуктами рослинного походження, оскільки енергія втрачається на кожному трофічному рівні. У межах видів м’яса виробництво жуйних тварин зазвичай призводить до більших викидів, ніж виробництво нежуйних ссавців, а виробництво птиці зазвичай призводить до менших викидів, ніж виробництво ссавців. Виробництво м’яса є найважливішим джерелом метану, який має

відносно високий потенціал зігрівання, але малий період напіврозпаду в навколишньому середовищі порівняно з CO_2. Ретельне управління системами пасовищ може сприяти накопиченню вуглецю, але чиста вигода, ймовірно, буде відносно скромною. Сільське господарство використовує більше прісної води, ніж будь-яка інша людська діяльність, причому майже третина потрібна для тваринництва, тому виробництво м'яса в районах з нестачею води є головним конкурентом іншим видам використання води, включно з тим, що необхідне для підтримки природних екосистем. Виробництво м'яса може бути важливим джерелом азоту, фосфору та інших забруднюючих речовин і впливає на біорізноманіття, зокрема через перетворення землі на пасовища та орні кормові культури.

Уряди діють, щоб сформувати харчові системи для економічних цілей і захистити здоров'я від зараженої їжі. Але існує менша згода щодо того, до якої міри держава повинна використовувати міркування здоров'я, навколишнього середовища чи добробуту тварин для контролю за постачанням м'яса шляхом втручання, що впливає на виробництво, продаж, обробку та розповсюдження м'яса та м'ясних продуктів або ціни на споживач. Для формування споживчого попиту потрібні додаткові докази ефективності різних втручань для впливу на вибір їжі. Це можуть бути свідомі рефлексивні системи прийняття рішень або на несвідомі автоматичні процеси. Потенційні втручання в рамках парадигми раціонального вибору включають схеми маркування (на основі критеріїв здоров'я чи навколишнього середовища) і програми сертифікації (на основі добробуту чи екологічних міркувань) або фіскальні втручання (такі як так звані податки на жир). Крім того, значною мірою автоматичними реакціями на сигнали навколишнього середовища, які впливають на купівельну та споживацьку поведінку, можна маніпулювати змінами в харчовому середовищі, в налаштуваннях роздрібної торгівлі та споживання їжі. Історія показує, що зміна харчової поведінки у відповідь на втручання відбувається повільно. Але соціальні норми можуть змінюватися і змінюються, і цьому процесу можуть сприяти скоординовані зусилля громадянського суспільства, організацій

охорони здоров’я та уряду. Проте успішне втручання, спрямоване на покращення здоров’я та досягнення цілей навколишнього середовища, ймовірно, вимагатиме хорошого розуміння впливу споживання м’яса на ці результати, а також дозволу від суспільства для урядів та інших органів на здійснення набору заходів для стимулювання змін.

Споживання різних видів м'яса та м'ясних продуктів має значний вплив на здоров'я людей, а тваринництво може мати серйозні негативні наслідки для навколишнього середовища. Тому необхідно досліджувати доказову базу для цих тверджень і варіанти, які мають політики, якщо вони захочуть втрутитися, щоб вплинути на споживання м’яса населенням. Кількість м’яса в раціоні людей сильно відрізняється в окремих і в різних суспільствах. На глобальному рівні як середнє споживання м’яса на душу населення, так і загальна кількість спожитого м’яса зростає, що спричинено підвищенням середнього індивідуального доходу та зростанням населення. Більш детальний аналіз показує, що відбулися серйозні зміни у типі м’яса, яке споживається, зокрема, значне збільшення споживання курки та свинини. Крім того, більша частина м’яса, яке є доступним для населеня сьогодні, обробляється перед покупкою.

Тенденції попиту на м'ясо мають значення з багатьох причин. М’ясо може бути важливим джерелом поживних речовин для людей з низьким рівнем доходів і обмеженим харчуванням, але є також докази того, що велике споживання м’яса може підвищити ризик деяких типів хронічних захворювань. Виробництво м’яса є одним із найважливіших способів впливу людства на навколишнє середовище: ми вирубуємо ліси, щоб створити пасовища, а також орні землі, щоб задовольнити попит на корм для тварин. Тваринництво є основним джерелом парникових газів (ПГ) та інших забруднювачів, у деяких районах потребує дефіцитних водних ресурсів і може посилити ерозію ґрунту. Але худоба також забезпечує роботу для великої кількості людей, а торгівля худобою та супутніми продуктами харчування є основним компонентом економіки багатьох країн.

Політики дедалі більше стикаються з економічними, медичними та екологічними наслідками зростання споживання м’яса. Незрозуміло, до якої міри політики мають дозвіл суспільства втручатися, щоб впливати на споживання м’яса, і якщо вони мають таку можливість, то які втручання можуть бути ефективними. Ці проблеми є особливо складними, враховуючи численні наративи про споживання м’яса, які впливають на поведінку кожного споживача.

Споживання м’яса на рівні населення можна оцінити за допомогою опитувань щодо дієти, проведених власними даними, які містять багато деталей, але дорогі у проведенні. На практиці не всі країни мають доступ до такого типу даних, і тому продовольчі баланси, отримані з національних сільськогосподарських і торговельних рахунків, часто використовуються для надання оцінки наявності продовольства, на основі якого можна оцінити споживання м’яса і продуктів на його основі. Ключова перевага цього підходу полягає в тому, що ту саму методологію можна застосувати до більшості країн, забезпечуючи охоплення та стандартизацію. Його слабкість полягає в тому, що він не вимірює безпосередньо споживання окремих осіб, і потрібно вносити коригування на витрати. Крім того, він зосереджений на первинних товарах, а не на перероблених і складених харчових продуктах, які зрештою споживаються. Це особлива проблема для м’ясних продуктів через різний вплив на здоров’я обробленого та необробленого м’яса.

Використовуючи дані продовольчого балансу, середнє глобальне споживання всього м’яса було оцінено в 122 г на день, з яких третина припадає на свинину та птицю, п’яту частину – на яловичину, а решта – на овець, кіз та інших тварин. У країнах з високим рівнем доходу споживання досягло плато і, можливо, навіть знизилося, тоді як у багатьох країнах із середнім рівнем доходу воно різко зросло, особливо в Китаї та Східній Азії, але не в Індії, можливо, через давню традицію вегетаріанства серед деяких спільнот. Кількість споживаного м’яса в Африці в середньому залишається відносно низькою, а в кількох країнах зменшилася, хоча в деяких пастуших громадах м’ясо та молочні продукти становлять дуже велику частку раціону. У багатьох регіонах також відбулися

значні зміни у споживанні видів м’яса: як правило, більше курки за рахунок яловичини та більше обробленого м’яса.

Нещодавно було зібрано 266 індивідуальних дієтичних досліджень із 113 країн, щоб оцінити глобальне споживання червоного м’яса та обробленого м’яса згідно з проектом «Глобальний тягар хвороб» (GBD). Глобальне середнє споживання на душу населення 42 г на день необробленого червоного м'яса та 14 г на день обробленого м'яса (що включає як червоне, так і біле м'ясо) приховує значні регіональні відмінності з високим рівнем доходу (від 60 до 91 г на день) і країни Латинської Америки (від 27 до 44 г на день), які їдять найбільше, а Африка (7–34 г на день) і Азія (4–7 г на день) споживають найменше. Харчові баланси за той самий рік вказують на більш високе споживання червоного м’яса (~68 г день, після поправки на відходи), хоча це включає деяку кількість обробленого м’яса. З огляду на різні методологічні припущення, обидва підходи досить добре узгоджуються.

Добре встановлений емпіричний зв’язок показує, що в міру того, як люди стають багатшими, їхній раціон змінюється від основного крохмалистого продукту до раціону, який включає все більшу кількість очищених зерен, фруктів, овочів, м’яса та молочних продуктів. Ступінь, до якого ці типи їжі включені в раціон, залежить від їхньої відносної вартості. Щоб спроектувати дієти в майбутньому, деякі дослідники прийняли статистичний підхід, який базується на очікуваному майбутньому економічному зростанні. Такі дослідження показали, що зростання добробуту призведе до збільшення споживання м’яса на ~100% між 2005 р. і серединою століття. Інший підхід полягає в спробі змоделювати економічну динаміку продовольчої системи (зазвичай за допомогою моделей часткової рівноваги). Огляд таких моделей показав, що зростання попиту на продукцію тваринництва зросте на 62–144% до середини століття. Основний огляд, проведений Продовольчою та сільськогосподарською організацією (ФАО) ООН, який широко використовує оцінки експертів, прогнозує збільшення загальної кількості спожитого м’яса до середини століття на 76%. Це включає подвоєння споживання м’яса птиці,

збільшення яловичини на 69% і збільшення свинини на 42%. Незважаючи на розбіжності в деталях, різні дослідження сходяться на тому, що попит на м’ясо суттєво зросте.

Деякі невизначеності можуть вплинути на ці прогнози, включаючи соціально-економічні зміни, зростання продуктивності та кліматичні фактори, а також точний зв’язок між попитом на м’ясо та зростанням доходів у різних географічних регіонах. Попит на м'ясо має як економічну, так і культурну основу; Розуміння того, як еволюціонуватимуть суспільні норми та наративи щодо споживання м’яса, є важливим і складним для кількісної оцінки. Але існує загальна згода, що найбільше збільшення споживання м’яса відбудеться в країнах з низьким і середнім рівнем доходу.

12.2. Драйвери споживання м'яса

Розуміння причин, чому ми купуємо та споживаємо певні типи їжі, має вирішальне значення, якщо ми прагнемо покращити результати для здоров’я та навколишнього середовища. Для меншості людей може не бути альтернативи дієтам з дуже високим вмістом м’яса та іншої їжі тваринного походження. Кочові скотарі в пустельних і напівпустельних середовищах і традиційні інуїтські громади в Арктиці можуть лише вирощувати або полювати на тварин, оскільки вони мають обмежені можливості вирощувати або купувати інші види їжі.

> **Інуїти** – етнічна група корінних народів Північної Америки, яка проживає на близько 1/3 північних територій Канади.

В інших групах населення багато людей надто бідні, щоб купувати більше, ніж невелику кількість м’яса. Але для значної частини населення світу сьогодні ціна на м’ясо порівняно з їхнім середнім доходом нижча, ніж будь-коли в історії. Багато факторів, окрім ціни, впливають на рішення споживати м’ясо. Вроджені харчові переваги, ймовірно, виникли в середовищі, де нестача їжі була постійною загрозою. Внутрішнє прагнення до енергетичної та багатої

поживними речовинами їжі, такої як м’ясо, колись сприяло виживанню, але сьогодні може схиляти нас до хвороб надмірного споживання.

Біологічні фактори взаємодіють із різноманітними психологічними детермінантами, формуючи дієти. Рішення про покупку м’яса побудовано не лише на основі доступності, але й на інших факторах, таких як доступність або зручність (для купівлі чи приготування), а також його соціальній та культурній цінності. Окрім обдуманого мислення, підсвідомість під впливом звички та суспільних норм впливає на моделі споживання м’яса. Економіка та політична економія також впливають на дієти. Тваринництво становить 40% сільськогосподарської продукції за ціною та виробництвом м'яса, а переробка та роздрібна торгівля є суттєвим сектором економіки в більшості країн. Сектор має значний політичний вплив і виділяє великі суми грошей на рекламу та маркетинг. Лобіювання з боку м’ясної промисловості було інтенсивним під час формулювання дієтичних рекомендацій США, і організації громадянського суспільства стверджували, що це вплинуло на кінцеві рекомендації. Недержавні організації прагнуть вплинути на політику щодо м’яса та інших видів їжі, часто шляхом розробки альтернативних наративів, які резонують із частинами громадськості.

Наратив, або **оповідь** – сукупність пов'язаних між собою реальних чи вигаданих подій, фактів або вражень, які складають оповідний текст. А також – процес повідомляння такого тексту (нарація) і метод впорядковування дискурсу.
Дискурс – єдність мовлення та ситуації, в якій воно відбувається. Включає як перебіг мовлення, так і його передумови, обмеження та результати, позамовний контекст і невисловлені цілі й наміри, які супроводжують акт мовлення.

Порушені питання включають добробут тварин, ідею того, що є «природним», і те, як виробничі системи відповідають світогляду щодо економічної справедливості та глобалізації проти локалізації. Цей комплекс конкуруючих наративів містить і зазнає впливу політики охорони здоров’я та навколишнього середовища щодо дієт.

12.3. Вплив на здоров'я

Основним підходом до оцінки впливу споживання м’яса на здоров’я людей в довгостроковій перспективі є проспективні когортні епідеміологічні дослідження, в яких десятки тисяч учасників повідомляють про споживання їжі, а їхнє здоров’я спостерігають протягом багатьох років, щоб виявити зв’язок між споживанням м’яса і ризик захворювання. Результати цих досліджень слід інтерпретувати з великою обережністю, щоб урахувати потенційні фактори, що можуть призвести до плутанини. Мета-аналізи, які поєднують результати окремих когортних досліджень, можуть надати підсумкові оцінки, але не будуть надійними, якщо вони поєднують результати різнорідних досліджень і піддаються тим самим потенційним упередженням, що й оригінальні дослідження.

> **Когортне дослідження** – тип епідеміологічного дослідження, в якому особи ідентифікуються відповідно до впливу та слідують для визначення подальшого ризику захворювання.

Рандомізовані контрольовані дослідження на людях надзвичайно важко проводити, особливо протягом більше ніж кількох тижнів або місяців, тому важко виміряти довгостроковий вплив на здоров’я, тоді як інтерпретація значущості досліджень на тваринах для здоров’я людини є складною.

> **Рандомізовані** контрольовані дослідження – тип наукового (часто медичного) експерименту, при якому його учасники у довільному порядку діляться на групи, в одній з яких проводиться досліджуване втручання, а в іншій (контрольній) застосовуються стандартні методики або плацебо.
>
> **Плацебо** – цк речовина, яка не має лікувальних властивостей, але рекомендується пацієнту як ліки.

М’ясо є хорошим джерелом енергії та цілого ряду основних поживних речовин, включаючи білок і мікроелементи, такі як залізо, цинк і вітамін B_{12}. Можна отримати достатнє споживання цих поживних речовин, не вживаючи м’яса, якщо доступний і споживаний широкий вибір інших продуктів. Однак у

деяких країнах з низьким рівнем доходу доступ до альтернативної їжі з високим вмістом поживних речовин може бути обмеженим; отже, дієти з низьким вмістом м'яса можуть мати негативний вплив на здоров'я. Приблизно 35% людей в Індії є вегетаріанцями, але вплив вегетаріанства недостатньо задокументовано, хоча є деякі докази того, що індійські вегетаріанці мають дещо більш сприятливий профіль серцево-судинного ризику, ніж невегетаріанці.

У західних країнах з високим рівнем доходу великі перспективні дослідження та мета-аналіз загалом показують, що загальні показники смертності дещо вищі в учасників, які споживають високу кількість як червоного, так і обробленого м'яса, ніж у тих, хто споживає мало м'яса, тоді як зворотний зв'язок відсутній або помірний. спостерігалося для домашньої птиці. Однак частково це може бути наслідком зв'язку великого споживання м'яса з іншими основними факторами ризику, такими як куріння, споживання алкоголю та ожиріння, оскільки інформація, необхідна для статистичного усунення впливу цих змішуючих факторів, може бути недоступною.

Найпереконливіші докази несприятливого впливу великого споживання м'яса на здоров'я стосуються колоректального раку. Міжнародне агентство з дослідження раку (IARC) Всесвітньої організації охорони здоров'я класифікувало оброблене м'ясо як канцерогенне для людини через зв'язок із колоректальним раком, а червоне м'ясо класифікується як ймовірно канцерогенне для людини, знову ж таки на основі доказів зв'язку з колоректальним раком. За оцінками IARC, 34 000 смертей від раку на рік у всьому світі пов'язані з дієтами з високим вмістом обробленого м'яса, і якщо буде доведено причинно-наслідковий зв'язок із споживанням червоного м'яса, то дієти з високим вмістом червоного м'яса можуть бути причиною 50 000 смертей від раку на рік у всьому світі. Середнє споживання обробленого м'яса в Західній Європі 26,4 г день, виходячи з аналізу IARC, призвело б до збільшення ризику колоректального раку на 9%. Високе споживання обробленого м'яса також може збільшити ризик раку шлунку, але немає переконливих доказів того, що це підвищує ризик інших видів раку.

Споживання обробленого м’яса також, здається, пов’язане з ризиком кількох інших захворювань, хоча докази не переконливі. Наприклад, нещодавній мета-аналіз повідомив, що велике споживання обробленого м’яса (але не обробленого червоного м’яса) пов’язане з помірним підвищенням ризику смертності від серцево-судинних захворювань. Деякі дослідження також показали, що велике споживання обробленого м’яса пов’язане з підвищеним ризиком інших хронічних захворювань, таких як діабет, і збільшенням ваги у дорослих. Кілька когортних досліджень вивчали зв’язок споживання м’яса зі здоров’ям у незахідних країнах. У країнах Заходу з високим рівнем доходу низьке споживання м’яса може бути ознакою здорового способу життя, але в країнах з низьким рівнем доходу низьке споживання м’яса, швидше за все, є ознакою бідності та пов’язане з іншими факторами ризику поганого здоров’я. У зведеному аналізі азіатських досліджень і нещодавньому когортному дослідженні в Ірані споживання м’яса було значно нижчим, ніж у Сполучених Штатах, і не було пов’язане з ризиком загальної смертності або смертності від серцево-судинних захворювань або раку. Поки що не зрозуміло, як високий рівень споживання обробленого м’яса або червоного м’яса підвищує ризик колоректального раку. Компоненти в м’ясі, які можуть бути канцерогенними, включають гемове залізо, N-нітрозосполуки в обробленому м’ясі, а також гетероциклічні ароматичні аміни та поліциклічні ароматичні вуглеводні, які утворюються, коли м’ясо готується при високих температурах. Кілька механізмів також можуть лежати в основі спостережуваного зв’язку між великим споживанням м’яса та ризиком серцево-судинних захворювань. Наприклад, червоне та оброблене м’ясо може збільшити ризик, оскільки вони зазвичай багаті насиченими жирними кислотами, які підвищують рівень холестерину ліпопротеїнів низької щільності, а оброблене м’ясо також може підвищити артеріальний тиск, оскільки воно зазвичай містить багато солі; можуть бути задіяні й інші механізми, наприклад утворення N-оксиду триметиламіну з L-карнітину в м’ясі.

Ліпопротеїни – клас складних білків, простетична група яких представлена яким-небудь ліпідом. Зазвичай вони є структурними елементами біологічних мембран та транспортними білками, що транспортують холестерин та інші стероїди, фосфоліпіди та інші сполуки.

Потрібні подальші дослідження впливу м’яса на здоров’я в країнах із низьким і середнім рівнем доходу, а також ролі замінників рослинної їжі, наприклад бобових. Модельні оцінки, які включали індивідуальні коефіцієнти ризику для м’ясних і рослинних продуктів, показали, що перехід від дієти з високим вмістом м’яса до рослинної дієти може знизити глобальні показники смертності на 6–10%, якщо змодельовані зв’язки є причинно-наслідковими.

В даний час різні національні та міжнародні організації рекомендують верхню межу споживання м'яса для підтримки хорошого здоров'я. Наприклад, Всесвітній фонд дослідження раку рекомендує, щоб люди, які їдять червоне м’ясо, споживали менше 500 г на тиждень, а середнє споживання популяції не повинно перевищувати 300 г на тиждень, у кожному випадку зводячи до мінімуму частку обробленого м’яса. Інші ініціативи, такі як проект GBD, пропонують споживати не більше однієї 100-грамової порції на тиждень, щоб зменшити тягар захворювань, пов’язаних зі споживанням м’яса.

М’ясо також є потенційним джерелом різноманітних інфекцій харчового походження. Домашня худоба також може виступати в якості резервуарів для патогенів, які також можуть інфікувати людей, що є особливою проблемою, коли люди та сільськогосподарські тварини вступають у тісний контакт. Крім того, антибіотики широко використовуються у виробництві м’яса як ветеринарні препарати та стимулятори росту. Існує серйозне занепокоєння, що гени стійкості до антибіотиків можуть бути відібрані в сільськогосподарських умовах, а потім передані людським патогенам.

12.4. Вплив на навколишнє середовище

Питання про те, чи виробництво м'яса є більш чи менш шкідливим для навколишнього середовища, ніж інші види їжі, є складним через різноманітність систем виробництва м'яса, тому що виробництво м'яса може або не може конкурувати за ресурси, які можна використовувати для виробництва інших видів їжі, і тому що це критично залежить від того, як вимірюється шкода навколишньому середовищу. Протягом останніх двох десятиліть численні аналізи життєвого циклу мали на меті оцінити викиди парникових газів різними типами систем виробництва м'яса. М'ясо виробляє більше викидів на одиницю енергії порівняно з продуктами рослинного походження, оскільки енергія втрачається на кожному трофічному рівні. У межах видів м'яса виробництво жуйних тварин зазвичай призводить до більших викидів, ніж виробництво нежуйних ссавців, а виробництво птиці призводить до менших викидів, ніж виробництво ссавців. Важливе значення має тип виробничої системи. Інтенсивне вирощування, як правило, дає менше викидів парникових газів, ніж більш екстенсивні системи на одиницю продукції (хоча вони можуть принести з собою інші важливі недоліки).

Найважливішими антропогенними ПГ є вуглекислий газ (CO_2), метан і закис азоту (N_2O). Виробництво м'яса призводить до викидів усіх трьох речовин і є найважливішим джерелом метану. Використовуючи складний показник еквівалентів CO_2, тваринництво відповідає за ~15% усіх антропогенних викидів. Але розрахунок CO_2 зводить викиди цих трьох речовин до загальної шкали, що може ввести в оману через різний час перебування в атмосфері: для CO_2 ключовими є кумулятивні викиди, тоді як для метану це швидкість викидів. В даний час худоба створює ~5% від майже 37 гігаметричних тонн CO_2 , які людська діяльність додає в атмосферу щороку. Велика кількість сукупних викидів, за оцінками, викликають потепління на 2°C; отже, 100 років виробництва CO_2 у тваринництві за нинішніх темпів призведе до вимірного, але порівняно невеликого приросту глобального потепління (~0,1°C). Виробництво

м’яса наразі додає в атмосферу 0,15 гігаметричної тонни метану та 0,0065 гігаметричної тонни N_2O щорічно. Якщо дозволити кліматичній системі досягти рівноваги з таким рівнем викидів і розпаду парникових газів (що займе приблизно десятиліття для метану і приблизно століття для N_2O), тоді Земля буде на 0,44°C теплішою. Коли ця рівновага досягається, тривалі викиди метану та N_2O на тому ж рівні не призводять до подальшого потепління. CO_2 відрізняється тим, що його вплив на потепління буде зростати до тих пір, поки триватимуть викиди CO_2 , навіть якщо швидкість викидів не зростатиме. Ці оцінки свідчать про те, що виробництво м’яса дійсно має значення для розрахунків майбутнього глобального потепління, але розрізнення ефектів різних типів парникових газів є дуже важливим для політиків. Приблизно 4% усього м’яса та 8% яловичини виробляється в екстенсивних системах лише трав’яного вигодовування (трава також використовується як джерело корму в змішаних системах). Випас має комплексний вплив на вуглецеві бюджети; це може стимулювати рослини виділяти більше ресурсів під землею, що сприяє секвестрації, а екскременти худоби можуть сприяти росту рослин і фіксації вуглецю, роблячи азот більш доступним для наступного покоління рослин (хоча частина цього азоту втрачається через викиди N_2O).

> **Секвестр** – омертвіла ділянка тканини (наприклад, кістки), що вільно розташовується серед живих ділянок тканини. Вона не підлягають лізису і не заміщуються.

Але це необхідно збалансувати з прямими викидами ПГ від тварин, непрямими викидами, спричиненими надмірним випасом худоби та ерозією, а також альтернативними потенційними способами використання землі, у тому числі для поглинання вуглецю через природне зростання рослин або лісонасадження. Були висунуті серйозні заяви щодо потенціалу тваринництва за допомогою випасу як головної чистої вигоди від зміни клімату через сприяння зберіганню CO_2; однак ретельний аналіз показав, що оцінювані переваги дуже залежать від місцевості, а на глобальному рівні переваги в кращому випадку скромні та переважають викиди, які виробляють тварини. Луги справді зберігають вуглець, але подальша кількість, яку вони можуть поглинати,

залежить від того, скільки вони вже містять, і зрештою поглинання припиняється, коли прибутки збалансовані втратами через вимивання, дихання мікробів та інші процеси. Погане управління, природні явища, такі як посухи або пожежі, і зміни у землекористуванні можуть швидко вивільнити вуглець назад в атмосферу. Ретельне управління системами пасовищ може сприяти пом'якшенню зміни клімату, але чисті вигоди, ймовірно, будуть відносно скромними.

Сільське господарство використовує більше прісної води, ніж будь-яка інша людська діяльність, і майже третина цього обсягу потрібна для тваринництва. Вода, яка використовується у тваринництві, в основному (87,2%) є «зеленою водою» - 1 дощем та іншими опадами, які випадають безпосередньо на землю. Хоча забір «блакитної води» для виробництва тваринницької продукції – з річок, озер і ґрунтових вод – становить лише 7% від використання зеленої води, він особливо важливий, оскільки більш безпосередньо конкурує з іншими способами використання води, включно з тією, яка потрібна для підтримки водних екосистем. На воду, яка використовується для вирощування кормів, припадає 98% від загального водного сліду тваринницької продукції, причому на питну воду для худоби, технічну воду та воду для змішування кормів припадає лише 1,1, 0,8 і 0,03% від загального водного сліду відповідно. Наслідки забору блакитної води можуть мати суттєвий вплив на водні ресурси, наприклад, у водоносному горизонті Високих рівнин у центральних Сполучених Штатах, де збільшення виробництва худоби, яку годують зрошуваною кукурудзою, призводить до серйозного виснаження водоносного горизонту. На відміну від викидів парникових газів, які мають однаковий кліматичний вплив незалежно від місця їх викидів, вплив використання води залежить від джерела води, місця та сезону, протягом якого вода використовується. Існують також значні відмінності у водному сліді між типами м'яса та системами виробництва, хоча в середньому вирощування яловичини більш ніж у три рази більш водоємне, ніж виробництво курятини на кілограм м'яса.

Азот і фосфор у тваринному гної сприяють накопиченню поживних речовин у поверхневих і підземних водах, завдаючи шкоди водним екосистемам і здоров'ю людини. Лагуни з гноєм, які використовуються в інтенсивному тваринництві, містять поживні речовини, токсини та патогени, є концентрованим ризиком забруднення поверхневих і ґрунтових вод. Дифузне навантаження поживними речовинами від пасовищного тваринництва залежить від рівня поголів'я, близькості до водойм і методів землеустрою (таких як наявність смуг рослинності вздовж водойм). Враховуючи певний рівень виробництва м'яса, використання тваринного гною як замінника штучних добрив, для виробництва яких потрібна велика кількість енергії, допомагає знизити викиди парникових газів (хоча зниження рівнів виробництва м'яса з інтенсивним викидом парникових газів завжди є більш ефективною стратегією). Найбільш суттєвий безпосередній спосіб, яким виробництво м'яса впливає на біорізноманіття, – це перетворення землі під сільськогосподарські. Це передбачає як перетворення природних середовищ існування на пасовища та випаси, так і перетворення на орні землі для виробництва зерна та сої для споживання худобою. Було підраховано, що ~71% перетворення тропічних лісів у Південній Америці було спрямовано на розведення великої рогатої худоби та ще ~14% на промислове вирощування культур, включаючи сою для годування тварин (пасовища часто згодом перетворюються на орні землі). За останні 20 років експорт сої з Південної Америки до Китаю (та інших країн) різко зріс і зараз становить один із найбільших міжнародних товарних потоків. Тваринництво також впливає на біорізноманіття через надмірний випас худоби, особливо згубний вплив на посушливі території. У цих екосистемах паслися б дикі травоїдні тварини, але значно більший відбір від худоби змінює та зменшує різноманіття видів рослин. Зменшення рослинного покриву та витоптування схилів призводить до ерозії ґрунту та подальшої втрати біорізноманіття. Було проведено значні дослідження того, які комбінації дикої природи та щільності худоби найкраще сприяють біорізноманіттю в різних екологічних умовах, і в деяких випадках, коли місцеві травоїдні тварини більше не присутні або вимерли, худоба може допомогти або

бути важливою для підтримки природних екосистем. Але в багатьох країнах, що розвиваються, зрозумілий тиск бідних людей, які потребують виробництва їжі, призводить до замкнутого кола нестійкого надмірного випасу худоби та зростання попиту на пасовища.

Тваринництво також може впливати на біорізноманіття через спільні захворювання. Наприклад, левам у національному парку Крюгера в Південній Африці загрожує бичачий туберкульоз, яким вони заражаються від буйволів, яких їдять, які, у свою чергу, заражаються від домашньої худоби. Але ці ефекти не завжди повинні бути негативними. Глобальна ліквідація чуми великої рогатої худоби була проведена для захисту худоби, але дикі копитні також отримують користь від викорінення цієї хвороби.

12.5 Зміна дієт

Дослідження того, як люди виправдовують собі споживання м'яса, показують, що віра в те, що це «природно, нормально, необхідно або приємно», пояснює переважну більшість відмінностей у споживанні. Саме тому, що споживання м'яса є «нормальною» частиною раціону, часто рутинним центром основного прийому їжі, «вибір» його споживання залишається в основному неперевіреним. Проте соціальні норми можуть змінюватися і змінюються, і цьому процесу можуть сприяти скоординовані зусилля громадянського суспільства, організацій охорони здоров'я та уряду, як це спостерігалося у випадку відмови від куріння. Зростають заклики до уряду втрутитися, змінивши економічну, політичну та/або правову системи, які могли б трансформувати систему виробництва, постачання та розподілу м'яса. Безперечно, що уряди повинні діяти, щоб запобігти потраплянню хімічно або біологічно забруднених харчових продуктів на ринки. Дійсно, деякі давні релігійні заборони на споживання певних видів м'яса могли виникнути, щоб зменшити харчове отруєння. Існує більше суперечок щодо того, якою мірою держава повинна використовувати міркування добробуту тварин (або інші) для обмеження

виробництва та продажу певних видів м’яса. Існують технічні та філософські проблеми в оцінці якості життя тварини, які ускладняються тим фактом, що часто породи худоби є результатами селекції багатьох поколінь за економічно важливими ознаками, які можуть призвести до відповідного впливу на добробут. Держави також втручаються, щоб захистити певних диких тварин від полювання для їжі, що часто є спірним питанням, наприклад, там, де споживання «м’яса диких тварин» культурно вкорінене. Усі розвинені країни та багато країн, що розвиваються, мають законодавство, яке забороняє виробництво та продаж певних видів м’яса на основі неекономічних прав тварин або міркувань збереження, але немає консенсусу щодо їх суворості. Додатковим міркуванням є напруга між спонсорованим державою втручанням у продовольчу систему та вільною торгівлею. Згідно з правилами Світової організації торгівлі та втіленими в більшості торговельних угод, урядам дозволено обмежувати імпорт м’яса з міркувань безпеки харчових продуктів, а також для захисту місцевих ферм від екзогенних захворювань худоби. Не можна вводити протекціоністські тарифи, використовуючи ці причини як виправдання. Наприклад, Самоа була змушена скасувати заборону на імпорт жирного м’яса, введену як засіб боротьби з ожирінням. Поточні дебати щодо того, чи можна в майбутньому імпортувати в Європейський Союз (ЄС) очищену хлором птицю, ілюструють ці складності. Ця процедура наразі заборонена в ЄС, який має іншу філософію щодо забезпечення мікробної безпеки харчових продуктів, наголошуючи на втручанні на ранніх етапах харчового ланцюга.

Зміну поведінки популяцій для зменшення попиту на м’ясо можна розглянути через призму теорії подвійних процесів, яка розглядає роль як свідомих, так і несвідомих процесів, що діють паралельно, щоб впливати на вибір їжі. Хоча існує небагато прямих доказів ефективності втручань, спрямованих на зниження попиту на м’ясо, існує маса потенційно відповідних робіт, які можуть дати інформацію про те, як це можна реалізувати. Один з напрямків потенційного втручання діє в рамках парадигми раціонального вибору, заснованої на рефлексивній, свідомій обробці. Наприклад, маркування харчової

цінності використовується для того, щоб люди могли зробити вибір здоровішої дієти, хоча є мало доказів того, що етикетки, зосереджені на критеріях стійкості, змінюють поведінку. Програми сертифікації, що проводяться приватним сектором або неурядовими організаціями, є ще одним засобом надання достовірних доказів щодо стандартів добробуту чи навколишнього середовища. Хоча самі по собі такі втручання, ймовірно, матимуть помірний вплив, урок боротьби з тютюном полягає в тому, що підвищення обізнаності щодо наслідків для здоров'я було вирішальним для отримання підтримки для змін політики. Спроби змінити дієти за допомогою фіскальних інтервенцій також лежать у рамках раціонального вибору. Незважаючи на те, що Данія не була спеціально спрямована на споживання м'яса (і мотивована більше економікою, ніж здоров'ям), у період з 2011 по 2012 роки податок на вміст насичених жирів у продуктах харчування зумовив підняття ціни на деякі м'ясні продукти на 15%. З моменту його скасування аналіз панельних даних показав, що податок супроводжувався скороченням споживання продуктів з високим вмістом насичених жирів, включаючи яловичий фарш, а моделювання довгострокових результатів для здоров'я свідчить про зниження неінфекційних захворювань і передчасної смертності споживачів.

Деякі втручання залежать від неусвідомлених поведінкових процесів для їх ефективності та значною мірою є автоматичною реакцією на навколишні сигнали, в результаті чого люди схильні автоматично приймати варіант за замовчуванням, а не активно шукати альтернативу за бажанням. Наприклад, є певні докази того, що зміна позиції варіантів м'яса, щоб вони з'являлися після, а не перед вегетаріанськими стравами в меню або на буфетах, щоб зробити ці продукти більш помітними, може збільшити кількість людей, які вибирають страви без м'яса, але необхідні додаткові дослідження. Було показано, що зменшення розміру порції м'ясних продуктів у ресторані зменшує споживання м'яса без шкідливого впливу на сприйняття клієнтами ресторанного досвіду, можливо тому, що м'ясо є невеликою частиною загальної події. Ці підходи спонукають споживачів змінити свою поведінку, не обов'язково вимагаючи

свідомого «вибору». У деяких політичних філософіях втручання, мотивовані поведінкою, вважаються кращими, ніж втручання на ринок. Інші турбуються про їхню ефективність і етичність спроб маніпулювати поведінкою населення.

Занепокоєння щодо етичних та екологічних наслідків споживання м’яса призвело до швидкого розширення розробки замінників м’яса. Значні нові інвестиції йдуть у продукти на основі бобових та інших рослин, а нові замінники на основі різноманітних мікробних та рослинних субстратів залучають значний венчурний капітал. Культивоване м’ясо, вироблене в світлі останніх досягнень у розумінні розвитку м’язів, не настільки просунуте, але йому також приділяється значна увага. Нова дослідницька задача полягає в тому, щоб зрозуміти реакцію споживачів на ці харчові продукти та оцінити наслідки для економіки, праці, навколишнього середовища та здоров’я, якщо вони вироблятимуться у великих масштабах.

Майбутні зміни в глобальному споживанні м'яса матимуть серйозний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей, а також на економіку харчової системи. Важко уявити, як світ міг би забезпечити населення в 10 мільярдів або більше людей тією кількістю м’яса, яка зараз споживається в більшості країн з високим рівнем доходу, без суттєвих негативних наслідків для екологічної стійкості. Сучасні дані свідчать про те, що збільшення споживання м’яса, особливо червоного та обробленого, негативно вплине на здоров’я населення. Існують дані, які свідчать про те, що в деяких країнах з високим рівнем доходу споживання м’яса на душу населення досягає плато або починає знижуватися, і що «пік споживання м’яса» вже пройдено. Але споживання зростає в багатьох інших країнах, у тому числі в тих із великим населенням, як-от Китай. Необхідні додаткові докази ефективності різних втручань, спрямованих на вплив на свідомі та несвідомі практики купівлі та споживання їжі людьми. Це вимагатиме кращого розуміння того, як на індивідуальні дії впливають суспільні норми та структура харчової системи, в яку включені люди. Безліч факторів, які впливають на ціну та доступність м’яса, а також на те, як воно обробляється та продається, визначають соціально-економічний ландшафт,

який глибоко впливає на норми та поведінку та на них впливає. Існування основних зацікавлених осіб і центрів влади робить політичну економію зміни дієти надзвичайно складною.

Історія показує, що зміна харчової поведінки у відповідь на втручання відбувається повільно. Але соціальні норми можуть змінюватися і змінюються, і цьому процесу можуть сприяти скоординовані зусилля громадянського суспільства, організацій охорони здоров'я та уряду. Проте, ймовірно, потрібне добре розуміння впливу споживання м'яса на здоров'я та навколишнє середовище, а також ліцензія суспільства на низку заходів для стимулювання змін.

Продукти тваринного походження є основним джерелом парникових газів харчової системи, і їх відносна важливість, ймовірно, зросте в майбутньому. Три основні ПГ мають досить різний вплив на клімат. Потепління через метан є значним і швидко зростає, але через короткий час перебування газу в атмосфері припиняє зростати приблизно через два десятиліття, тоді як потепління через вуглекислий газ продовжує зростати протягом двох показаних століть і справді продовжуватиметься зростати нескінченно, доки тривають викиди. Потепління через закис азоту почало нівелюватися наприкінці двох століть і незначно зростає в наступні роки. Хоча потепління у відповідь на фіксований рівень викидів метану досить швидко зменшується, збільшення рівня викидів метану, спричинене збільшенням виробництва тваринницької продукції, все одно спричинить пропорційне збільшення потепління, викликаного метаном.

Питання для самоконтролю

1. Яким бачиться майбутнє споживання м'яса?
2. Хто є драйверами споживання м'яса?
3. Як вживання м'яса впливає на стан здоров'я споживачів?
4. Як виробництво м'яса впливає на навколишнє середовище?
5. Що означає термін «зміна дієт»?

Рекомендована навчальна література

1. Сирохман І., Лозова Т. Товарознавство м'яса і м'ясних товарів. 2-ге видання. Київ: Центр учбової літератури, 2017. 378 с.
2. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
3. Технологія м'ясопродуктів із нетрадиційної м'ясної сировини : підручник / Л. В. Пешук, М. О. Янчева, О. І. Гащук, С. Г. Кириченко ; Нац. ун-т харч. технол., Харк. держ. ун-т харч. та торг. Київ : ЦУЛ, 2017. 300 с.
4. Цехмістренко, С. І. Біохімія м'яса та м'ясопродуктів : навч. посібник / С. І. Цехмістренко, О. С. Цехмістренко. Біла Церква, 2014. 192 с.
5. Баль-Прилипко, Л. В. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі : підручник / Л. В. Баль-Прилипко. Київ : КВІЦ, 2011. 288 с.
6. Баль-Прилипко, Л. В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів : монографія / Л. В. Баль-Прилипко ; за ред. С. Д. Мельничука. Київ : НУБіП, 2012. 207 с.
7. Пешук, Л. В. Технологія переробки вторинних продуктів м'ясної галузі : підручник / Л. В. Пешук ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : ЦУЛ, 2018. 366 с.
8. Поперечний, А. М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник / А. М. Поперечний, В. О. Потапов, В. Г. Корнійчук. Донецький національний університет економіки і торгівлі, Харківського державного університету харчування і торгівлі. Київ : ЦУЛ, 2012. 312 с.
9. Toldrá, F. (ed.). Lawrie's meat science. Woodhead Publishing, 2022. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/xdjjty
10. Hui, Y. H. (ed.). Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://surl.li/nhujre
11. Технологія м'яса та м'ясних продуктів : дайджест. Вип. 1. [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олаборді. 3-е вид., перераб. та доп. Київ, 2021.18 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://library.nuft.edu.ua/inform/myaso2015.pdf
12. Обладнання харчових та переробних виробництв: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олаборді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 247 с. Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/20fbef79-f93d-4a44-b44c-80b515367b06/content

ВИСНОВКИ

Життя сучасної людини проходить в ритмі багатозадачності, в умовах постійного фізичного і інтелектуального напруження. Щодня наші дії пов'язані зі швидкістю - потрібно встигнути все! У цій гонці людина втрачає як розумові, так і фізичні сили, які необхідно поповнювати і живити. Ідеальним, природним і натуральним джерелом заряду життєвої енергії для людини є м'ясо.

Чому потрібно їсти м'ясо?

1. М'ясо - ідеальне джерело білка - найважливішого будівельного матеріалу. У нашому організмі білки не утворюються, тому їх запаси необхідно відновлювати щодня.

2. М'ясо – повноцінний продукт, який потрібен нам для будівництва м'язів і забезпечення організму життєвою силою. У ньому містяться незамінні амінокислоти, ліпіди, мікроелементи і вітаміни.

3. М'ясо містить малу кількість вуглеводів і наповнює організм необхідним натрієм, фосфором, калієм, магнієм, і особливо цінним залізом. За результатами світових досліджень залізо є незамінним компонентом, необхідним для утворення крові і гемоглобіну.

4. Також одним з найважливіших для людини вітамінів є вітамін B_{12}, який найкращим чином синтезується саме в м'ясі тварин. Його нестача призводить до нервозності, депресії, апатії, швидкої втомлюваності, проблемами з пам'яттю і ряду інших неприємних наслідків.

М'ясо можна спробувати замінити, але цілим набором продуктів, кожен з яких не перетравиться настільки повноцінно і швидко, а організм не зможе легко засвоїти їх складові в повному обсязі.

Основними науково-технічними та соціально-економічними передумовами застосування інновацій у м’ясопереробній промисловості є:

1. Сучасний рівень та тенденції розвитку науки, інтенсивна інтеграція України у світове співтовариство.

2. Успіхи теоретичної й прикладної хімії, технології, біотехнології.

3. Досягнення фізіології, гігієни харчування та нутриціології.

4. Висока мобільність населення країни, урбанізація міст і підвищення інтенсивності виробничої та соціальної діяльності.

5. Необхідність розробки технології виробництва м'ясних продуктів, готових до вживання.

6. Розширення асортименту м'ясних продуктів, в тому числі для різних видів харчування.

7. Розвиток індустрії виробництва пакувальних матеріалів, споживчої і транспортної тари.

8. Необхідність ресурсозбереження та виробництва м'ясної продукції масового споживання.

9. Розвиток інфраструктури транспортного постачання, безперервного холодильного та спеціального зберігання.

10. Тенденція соціального розвитку суспільства, яке прагне скоротити час на виробництво їжі, скоротити частоту закупок у магазинах.

Саме завдяки інноваційним технологіям у світі створюються новітні виробництва з переробки м'яса, які націлені на забезпечення споживачів якісними м'ясними продуктами, привабливим асортиментом з високим рівнем гігієнічності та покупною привабливістю і спроможністю. Виробники м'яса розуміють і інше: необхідно створювати нові безпечні для здоров'я умови праці, що має стати провідним шляхом для залучення високо кваліфікаційних робітників у м'ясне виробництво, завдяки яким можливо впровадження на підприємствах м'ясної промисловості інноваційних сучасних наукоємних технологій будь то робототехніка або наукових досягнень у галузі обробки м'ясної продукції сучасними фізичними, хімічними, біологічними, радіаційними та іншими методами з метою підвищення споживчої якості кінцевого ринкового продукту. Все це потребує важкої праці у набутті інженерних знань сучасною молоддю, а для цього потрібна навчальні література, підручники і навчальні посібники, головною метою яких – дати такі знання студентам, щоб вони себе

відчували рівними і впевненими серед фахівців як в середині країни, так і за її межами.

Разом с тим недостатньо володіти тільки технологічними знаннями, потрібно їх поєднувати з технологічним обладнанням, мати уяву про тенденцію створення такого обладнання і розуміти принципи дії його та роботи. Даний навчальний посібник дає хоча і не повну картину щодо інноваційного обладнання, якого у світі виробників велика безліч, але завдяки наведеним прикладам наводить читача на роздумі щодо конструктивних особливостей того чи іншого обладнання і бажання творчо підходити до вирішення проблем втілення новітніх інженерних розробок у виробництво.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Shi, Y., Wang, X., Borhan, M. S., Young, J., Newman, D., Berg, E., & Sun, X. A review on meat quality evaluation methods based on non-destructive computer vision and artificial intelligence technologies. Food science of animal resources. 2021. 41(4), 563. DOI: https://doi.org/10.5851/kosfa. 2021.e25

2. Anese, M., Manzocco, L., Panozzo, A., Beraldo, P., Foschia, M., & Nicoli, M. C. Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality. Food Research International. 2012. 46(1), 50-54. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.025.

3. Pierino Frozen Foods Improves Throughput, Efficiency and Labor Savings with the Latest Individually Quick Frozen (IQF) Pasta Freezing Technology. URL: https://www.messer-us.com/case-studies/pierino-iqf-pasta-freezing (дата звернення: 11.07.2024).

4. Переваги тунельної морозильної камери OCTOFROST IQF. URL:https://www.icesourcegroup.com/ru/benefits-of-cbfi-iqf-tunnel-freezer (дата звернення: 11.07.2024).

5. Frigoscandia GYRoCOMPACT® 70 Spiral Freezer. URL: https://www.jbtc.com/foodtech/products-and-solutions/products/freezers-chillers-refrigeration-and-proofers/spiral-freezers/frigoscandia-gyrocompact-70-spiral-freezer/ (дата звернення: 11.07.2024).

6. Bolumar, T., Orlien, V., Sikes, A., Aganovic, K., Bak, K. H., Guyon, C., ... & Brüggemann, D. A. High-pressure processing of meat: Molecular impacts and industrial applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. 20(1), 332-368. DOI: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12670

7. Hiperbaric 55 Main Features. URL: https://www.hiperbaric.com/en/hpp-technology/equipment/hpp-in-pack/hiperbaric-55/ (дата звернення: 25.07.2024).

8. Hiperbaric 525 Main Features. URL: https://www.hiperbaric.com/en/hpp-technology/equipment/hpp-in-pack/hiperbaric-525/ (дата звернення: 25.07.2024).

9. Medical Applications of Nuclear Physics. Food Irradiation. URL: https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/32-4-food-irradiation/(дата звернення: 25.07.2024).

10. Where Can You Find Industrial Irradiation Facilities? Visit a New Online Database. URL: https://www.iaea.org/newscenter/news/where-can-you-find-industrial-irradiation-facilities-visit-a-new-online-database (дата звернення: 25.07.2024).

11. Akhtar, J., Abrha, M. G., Teklehaimanot, K., & Gebrekirstos, G. Cold plasma technology: fundamentals and effect on quality of meat and its products. Food and Agricultural Immunology. 2022. 33(1), 451–478. DOI: https://doi.org/10.1080/09540105.2022.2095987

12. Misra, N.N. & Jo, Cheorun. Applications of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry. Trends in Food Science & Technology. 2017. 64. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.005

13. Bolumar, T., Enneking, M., Toepfl, S., & Heinz, V. New developments in shockwave technology intended for meat tenderization: Opportunities and challenges. A review. Meat Science. 2013. 95(4), 931-939. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.039

14. Herianto, S., Hou, C. Y., Lin, C. M., & Chen, H. L. Nonthermal plasma-activated water: A comprehensive review of this new tool for enhanced food safety and quality. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. 20(1), 583-626. DOI: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12667

15. Pivovarov O., Kovalova O., Koshulko V., Aleksandrova A. Study of use of antiseptic ice of plasma-chemically activated aqueous solutions for the storage of food raw materials // Food science and technology. 2021. Vol. 15, Issue 4. P. 95-105. DOI: https://doi.org/10.15673/fst.v15i4.2260

16. PEF MachineryPulsemaster > PEF Machinery. Pulsemaster's Pulsed Electric Field Equipment. URL: https://www.pulsemaster.us/pef-machinery (дата звернення: 30.07.2024).

17. Robotics & Market Insights. Articulated Robots: A Guide to the Most Familiar Industrial Robot. URL: https://howtorobot.com/expert-insight/articulated-robots (дата звернення: 30.07.2024).

18. RMP Marking Printer. Accurate carcass approval marking. URL: https://www.frontmatec.com/en/pork-solutions/clean-line-chill-room/aira-robots/aira-rmp-marking-printer(дата звернення: 30.07.2024).

19. Robotic Belly Trimmer. URL: https://www.frontmatec.com/en/pork-solutions/deboning-trimming/automatic-deboning-trimming/robotic-belly-trimmer (дата звернення: 30.07.2024).

20. Automatic Loin Puller 15c. URL: https://www.frontmatec.com/en/pork-solutions/deboning-trimming/automatic-deboning-trimming/automatic-loin-puller-15c (дата звернення: 02.08.2024).

21. What Is 3D-Printed Meat? URL: https://builtin.com/articles/3d-printed-meat (дата звернення: 02.08.2024).

22. Dong, H., Wang, P., Yang, Z., & Xu, X. 3D printing based on meat materials: Challenges and opportunities. Current Research in Food Science. 2023. 6, 100423. DOI: https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.100423

23. Steakholder Foods. 3D Printed Meat. URL: https://www.steakholderfoods.com/blog/3d-printed-meat(дата звернення: 02.08.2024).

24. Mateti, T., Laha, A., & Shenoy, P. Artificial meat industry: Production methodology, challenges, and future. Jom. 2022. 74(9), 3428-3444. DOI: https://doi.org/10.1007/s11837-022-05316-x

25. TFE 400 thermoformer. Thermoforming machine for flexible or rigid film with modified atmosphere (MAP) and vacuum options. URL: https://www.ulmapackaging.com/en/packaging-machines/thermoforming/tfe-400 (дата звернення: 02.08.2024).

26. TFE 500 thermoformer. Thermoforming machine for flexible or rigid film with modified atmosphere (MAP) and vacuum options. URL: https://www.ulmapackaging.com/en/packaging-machines/thermoforming/tfe-500 (дата звернення: 02.08.2024).

27. TFE 700 thermoformer. Thermoforming machine for flexible or rigid film with modified atmosphere (MAP) and vacuum options. URL: https://www.ulmapackaging.com/en/packaging-machines/thermoforming/tfe-700 (дата звернення: 02.08.2024).

28. Cooked sushi in traysealing with modified atmosphere (MAP). URL: https://www.ulmapackaging.com/en/packaging-solutions/ready-meals/pasta-lasagna-rice/cooked-sushi-in-traysealing-with-modified (дата звернення: 02.08.2024).

29. Cooked sushi in traysealing with modified atmosphere (MAP). URL: https://inoxmeccanica.com/products/meat-processing/meat-stuffing-machines/meat-automatic-stuffing-machine/ (дата звернення: 07.08.2024).

30. Food industry. Meat Processing. Electric stuffer. Automatic stuffer PIC 99 DRW. URL: https://www.directindustry.com/prod/inox-meccanica-spa/product-175518-2614264.html (дата звернення: 07.08.2024).

31. Food industry. Meat Processing. Electric stuffer. Automatic stuffer PIC LOMO. URL: https://www.directindustry.com/prod/inox-meccanica-spa/product-175518-2614276.html (дата звернення: 07.08.2024).

32. Food industry. Meat Processing. Electric stuffer. Semi-automatic stuffer P600. URL: https://www.directindustry.com/prod/inox-meccanica-spa/product-175518-2614303.html (дата звернення: 11.08.2024).

33. IR 115 LE. Automatic mesh packaging machines for meat and sausage products.URL: https://inoxmeccanica.com/products/meat-processing/food-packaging-machines/net-packaging-machine/ (дата звернення: 11.08.2024).

34. CLXP 260. Automatic clipping machine for sausages and reconstituted sausages. URL: https://inoxmeccanica.com/products/meat-processing/clipping-machines/automatic-clipping-machine/(дата звернення: 11.08.2024).

35. Shi, Y., Wang, X., Borhan, M. S., Young, J., Newman, D., Berg, E., & Sun, X. A review on meat quality evaluation methods based on non-destructive computer vision and artificial intelligence technologies. Food science of animal resources. 2021. 41(4), 563.. DOI: https://doi.org/10.5851/kosfa. 2021.e25

36. Dalvi-Isfahan, M., Hamdami, N., & Le-Bail, A. Effect of freezing under electrostatic field on the quality of lamb meat. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2016. 37, 68-73. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.028.

37. Anese, M., Manzocco, L., Panozzo, A., Beraldo, P., Foschia, M., & Nicoli, M. C. Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality. Food Research International. 2012. 46(1), 50-54. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.025.

38. Gil, M., & Rudy, M. Innovations in the packaging of meat and meat products—A review. Coatings. 2023. 13(2), 333. DOI: https://doi.org/ 10.3390/coatings13020333

39. Xu, Y., Zhang, D., Xie, F., Li, X., Schroyen, M., Chen, L., & Hou, C. Changes in water holding capacity of chilled fresh pork in controlled freezing-point storage assisted by different modes of electrostatic field action. Meat Science. 2023. 204, 109269. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109269.

40. Wu, G., Yang, C., Lin, H., Hu, F., Li, X., Xia, S., ... & Zhang, C. To What Extent Do Low-Voltage Electrostatic Fields Play a Role in the Physicochemical Properties of Pork during Freezing and Storage?. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2024. 72(3), 1721-1733.. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c08470.

41. Akhtar, J., Abrha, M. G., Teklehaimanot, K., & Gebrekirstos, G. Cold plasma technology: fundamentals and effect on quality of meat and its products. Food and Agricultural Immunology. 2022. 33(1), 451–478. DOI: https://doi.org/10.1080/09540105.2022.2095987

42. Jayasena, D. D., Kang, T., Wijayasekara, K. N., & Jo, C. Innovative application of cold plasma technology in meat and its products. Food Science of Animal Resources. 2023. 43(6), 1087.DOI: https://doi.org/10.5851/kosfa.2023.e31

43. Claus, J. R., Schilling, J. K., Marriott, N. G., Duncan, S. E., Solomon, M. B., & Wang, H. Hydrodynamic shockwave tenderization effects using a cylinder processor on early deboned broiler breasts. Meat Science. 2001. 58(3), 287-292. DOI: https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00028-6.

44. Gómez, I., Janardhanan, R., Ibañez, F. C., & Beriain, M. J. The effects of processing and preservation technologies on meat quality: Sensory and nutritional aspects. Foods. 2020. 9(10), 1416. DOI: https://doi.org/10.3390/foods9101416.

45. Yan, C., Kim, S. R., Ruiz, D. R., & Farmer, J. R. Microencapsulation for food applications: A review. ACS Applied Bio Materials. 2022. 5(12), 5497-5512. DOI: https://doi.org/10.1021/acsabm.2c00673

46. Gerber, P. J., Mottet, A., Opio, C. I., Falcucci, A., & Teillard, F. Environmental impacts of beef production: Review of challenges and perspectives for durability. Meat science. 2015. 109, 2-12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.013.

45. Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., ... & Jebb, S. A. Meat consumption, health, and the environment. Science. 2018. 361(6399), eaam5324. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aam5324

46. Kim, J., Kwon, Y.-K., Kim, H.-W., Seol, K.-H., Cho, B.-K. Robot Technology for Pork and Beef Meat Slaughtering Process: A Review. Animals. 2023. 13, 651. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13040651

47. Ross, S., Korostynska, O., Cordova-Lopez, L. E., & Mason, A. A review of unilateral grippers for meat industry automation. Trends in Food Science & Technology. 2022. 119, 309-319. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.017

Навчальне видання
(українською мовою)

Півоваров Олександр Андрійович
Ковальова Олена Сергіївна
Кошулько Віталій Сергійович

Інноваційні технології переробки м’яса та продуктів на його основі навчальний посібник

Навчальний посібник

Друкується в авторській редакції
Відповідальний за випуск О.А. Півоваров
Комп’ютерна верстка О.С. Обдимко

Оформлення згідно зі стандартами книговидання

Підписано до друку 17.01.2025 р. Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум.-друк. арк. 23,36. Обл.-вид. арк. 23.48.
Наклад 50 прим. Зам. № 01/25

Видавництво ФОП Обдимко,
м. Дніпро, вул. Уральська, 17
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 6033 від 20.02.2018 р.
Віддруковано ФОП Обдимко
49008, м. Дніпро, вул. Уральська, 17