

Півоваров О.А.
Ковальова О.С.
Кошулько В.С.
Тертишний О.О.

Іноваційні технології переробки молока

Навчальний
посібник

2026

Півоваров О.А.
Ковальова О.С.
Кошулько В.С.
Тертишний О.О.

Іноваційні технології переробки молока

Навчальний
посібник

2026

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

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

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА

Навчальний посібник



Дніпро 2026

УДК 664(075.8)

П 32

Рекомендовано до друку вченою радою ДДАЕУ
протокол № 9 від 26 червня 2025 р.

Рецензенти:

Гуляєв Віталій Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімічних та біологічних технологій, ректор Дніпровського державного технічного університету, Заслужений працівник освіти України.

Прісс Олеся Петрівна – доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи 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.

Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С., Тертишний О.О. Інноваційні технології та обладнання переробки молока: Навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2026. 461 с.

ISBN 978-617-95219-5-9

Навчальний посібник формує уявлення про ключові напрямки розвитку молочної промисловості, технології переробки молока, а також про актуальні проблеми, що виникають у процесі формування переробної галузі. Він спрямований на розвиток навичок застосування світового досвіду у сфері молочної індустрії. Основною метою є ознайомлення з сучасними досягненнями, інноваційними перспективами, технологічними процесами та обладнанням, що використовується для переробки молока і виробництва молочних продуктів з різних видів високоякісної сировини.

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти, які навчаються за ОПП Харчові технології за спеціальністю G13 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 978-617-95219-5-9

Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С., Тертишний О.О., 2026

ВСТУП.....	11
Розділ 1. ВИДИ МОЛОКА. ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ В КОРОВ'ЯЧОМУ МОЛОЦІ. ПАСТЕРИЗАЦІЯ ТА ІНШІ ТЕХНОЛОГІЇ УСУНЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ.....	14
1.1. Види молока.....	14
1.2. Біологічне та хімічне забруднення коров'ячого молока.....	26
1.3. Процес первинної обробки молока.....	42
1.4. Основні технології пастеризації молока.....	45
1.5. Лінія для переробки молока UHT (Ultra High Temperature).....	50
1.6. Біохімічні та фізичні методи видалення забруднень у коров'ячому молоці.....	54
Питання для самоконтролю.....	59
Рекомендована навчальна література.....	60
Розділ 2. ІННОВАЦІЙНІ ДОСЯГНЕННЯ В ПЕРЕРОБЦІ МОЛОКА	61
2.1. Напрямки інновацій у молочному виробництві.....	61
2.2. Обробка під високим тиском (HPP).....	66
2.3. Імпульсні електричні поля (PEF).....	71
2.4. Ультразвук.....	77
2.5. Холодна плазма.....	82
2.6. Ультрафіолетове світло.....	83
2.7. Опромінення.....	89
2.8. Технологія мембранної сепарації.....	97
2.9. Застосування біотехнології в молочній переробці.....	106
2.10. Біоконсервація.....	107
2.11. Роль молочнокислих бактерій у консервуванні.....	108
2.12. Профілактика та боротьба з мікрофлорою псування при консервуванні молочних продуктів.....	112
2.13. Пробиотики.....	120
2.14. Майбутнє застосування біотехнології в молочній промисловості.....	120

Питання для самоконтролю.....	121
Рекомендована навчальна література.....	122
Розділ 3. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЙОГУРТУ.....	124
3.1. Традиції та інновації в йогурті з функціональної точки зору.....	124
3.2. Джерела йогурту.....	127
3.2.1. Йогурт з коров'ячого молока.....	127
3.2.2. Йогурт з козячого молока.....	128
3.2.3. Йогурт з верблюжого молока.....	130
3.2.4. Йогурт з ослиного молока.....	130
3.2.5. Йогурт на рослинній основі.....	130
3.2.6. Види йогуртів на рослинній основі.....	131
3.3. Промисловий процес приготування йогурту.....	133
3.4. Функціональні інгредієнти та їх біологічна активність.....	136
3.4.1. Інгредієнти, що використовуються для підвищення функціональних властивостей йогуртів.....	136
3.4.2. Мед і продукти бджільництва.....	140
3.4.3. Бобові, коренеплоди, квіти та спеції.....	142
3.4.4. Інгредієнти з високим вмістом білка.....	144
3.5. Останні тенденції розвитку функціональних йогуртів.....	147
Питання для самоконтролю.....	153
Рекомендована навчальна література.....	154
Розділ 4. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МОРОЗИВА НА ОСНОВІ МОЛОКА ТА ІНШОЇ СІРОВИНИ.....	155
4.1. Відомості про інновації і вдосконалення виробництва морозива.....	155
4.2. Пробіотики, пребіотики та симбіотики.....	159
4.3. Зелені, золотисті та червоні ківі.....	162
4.4. Біоактивні білки, пептиди та амінокислоти.....	167
4.5. Сироватка та продукти на її основі.....	167
4.6. Біоактивні ліпіди.....	168
4.7. Підсолоджувачі.....	170

4.8. Харчові волокна.....	171
4.9. Вітаміни та мінерали.....	173
4.10. Лідерство морозива серед молочних продуктів.....	174
4.11. 6 концепцій створення інноваційного морозива.....	174
4.12. Нанотехнології для покращення текстури, реології та антимікробних аспектів молочних десертів і морозива.....	176
4.12.1. Основні методи нанокапсуляції в молочних продуктах.....	181
4.12.2. Наноемульсії.....	181
4.12.3. Коацервація.....	182
4.12.4. Комплексоутворення включення.....	183
4.12.5. Процес нанопреципітації.....	184
4.12.6. Процес емульгування–випаровування розчинника	185
4.12.7. Системи обробки надкритичних рідин.....	186
4.12.8. Наноліпосоми.....	187
4.13. Дослідний завод з виробництва морозива.....	187
Питання для самоконтролю.....	189
Рекомендована навчальна література.....	190
Розділ 5. КЕФІР І СМЕТАНА, ІННОВАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ	
ВИРОБНИЦТВА.....	192
5.1. Властивості кефіру і сучасні способи його виробництва.....	192
5.2. Види кефіру.....	193
5.2.1. Молочний кефір (Mil kefir).....	194
5.2.2. Водний кефір.....	195
5.3. Користь кефіру для здоров'я.....	196
5.4. Сметана.....	202
5.4.1. Фізико-хімічні властивості. Інгредієнти.....	204
5.4.2. Фізико-хімічні зміни.....	205
5.4.3. Реологічні властивості.....	207
Питання для самоконтролю.....	207
Рекомендована навчальна література.....	208

Розділ 6. СУЧАСНІ МЕТОДИ КОНСЕРВУВАННЯ МОЛОКА.....	210
6.1. Консервування молока методом сушіння.....	210
6.2. Традиційні процеси концентрування у виробництві молока.....	212
6.2.1. Процес випаровування молока.....	214
6.2.2. Вплив процесу випаровування на склад молочної матриці.....	216
6.2.3. Процес сушіння молока розпиленням.....	217
6.2.4. Вплив процесу сушіння розпиленням на композиційний склад молока.....	219
6.2.5. Імпульсне розпилювальне сушіння молока.....	221
6.3. Альтернативні процеси концентрування у виробництві молока.....	224
6.3.1. Концентрування замороженням.....	224
6.3.2. Вплив процесу концентрування заморожуванням на фізико-хімічні властивості молока.....	228
6.4. Процес мембранної сепарації молока	230
6.4.1. Вплив процесів мембранної сепарації на видалення непродуктивних компонентів в молочних продуктах.....	232
6.5. Ліофільна сушка.....	234
6.5.1. Вплив процесу сублимаційної сушки на склад молочних продуктів.....	236
6.6. Майбутні перспективи заміни традиційних технологій новими процесами концентрування молочних продуктів.....	239
Питання для самоконтролю.....	241
Рекомендована навчальна література.....	242
Розділ 7. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЕРШКОВОГО МАСЛА.....	244
7.1. Властивості вершкового масла.....	244
7.1.1. Вплив технологічних факторів на фазові перетворення в молочному жирі та вершках.....	246
7.2. Технологія виробництва вершкового масла.....	253
7.3. Вершкове масло, збагачене ненасиченими жирними кислотами.....	264
7.4. Вершкове масло, збагачене n-3 жирними кислотами. Риб'ячий жир.....	265

7.5. Масло чіа.....	267
7.6. Лляна олія.....	268
7.7. Вершкове масло, збагачене кон'югованими лінолевими кислотами.....	269
7.8. Виведення холестерину з вершкового масла.....	270
7.9. Видалення холестерину мікроорганізмами.....	272
7.10. Видалення холестерину шляхом додавання β-циклодекстрину (β-CD).....	273
7.11. Функціональне вершкове масло для поліпшення харчування.....	274
7.11.1. Вершкове масло, ферментоване пробіотиками.....	274
7.12. Антиоксидантне або антибактеріальне масло.....	277
7.13. Додавання у масло екстракту зеленого чаю.....	278
7.14. Додавання у масло побічних продуктів переробки томатів.....	278
7.15. Додавання у масло порошку фундука.....	279
7.16. Додавання у масло екстракту кориці.....	280
7.18. Масло, вироблене з функціонального молока.....	281
7.18.1. Масло з овечого та козячого молока.....	281
7.18.2. Масло з верблюжого молока.....	284
7.19. Замінники вершкового масла.....	286
7.19.1. Нові рослинні олії.....	287
7.19.2. Мікробне масло.....	288
7.19.3. Масло від комах.....	288
7.19.4. Клітинне масло.....	289
Питання для самоконтролю.....	291
Рекомендована навчальна література.....	292
Розділ 8. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СИРУ.....	293
8.1. Сири, їх склад і різноманіття технологій виготовлення та споживання....	293
8.2. Характеристика різних сирів.....	296
8.3. Процеси бродіння сиру.....	298
8.4. Розвиток технологій промислової переробки молока та її переваги.....	300
8.5. Смак сиру: походження та виробництво.....	302

8.6. Ліполіз і метаболізм жирних кислот.....	304
8.7. Протеоліз і метаболізм амінокислот.....	306
8.8. Прогрес у дослідженні технології виявлення смаку сиру.....	308
8.9. Критичні контрольні точки сиру.....	310
8.10. Різноманітність дріжджів у сири та їх вплив на смак.....	312
8.11. Вплив дріжджів на якість сиру під час бродіння.....	314
8.12. Приклади сучасного інноваційного обладнання для виробництва сиру.....	320
Питання для самоконтролю.....	325
Рекомендована навчальна література.....	326
Розділ 9. МОЛОКО РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ	328
9.1. Різновиди рослинного молока.....	328
9.1.1. Окремі різновиди рослинного молока.....	328
9.2. Виробництво молока на рослинній основі.....	334
9.3. Харчові аспекти рослинних замінників молока	338
9.4. Інноваційні технології обробки молока рослинного походження	340
9.5. Нетеплові інноваційні технології обробки молока рослинного походження.....	344
Питання для самоконтролю.....	351
Рекомендована навчальна література.....	352
Розділ 10. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ ВИРОБНИЦТВ. РОБОТИЗАЦІЯ	353
10.1. Потреба молочного виробництва в системі автоматизації	353
10.2. Автоматизація роботи молочних ферм.....	355
10.3. Автоматизація в молочних промислових операціях.....	357
10.4. Автоматизована система керування в молочній промисловості.....	362
10.5. Проблеми, пов'язані з автоматизацією молочного виробництва.....	364
10.6. Робототехніка.....	368
10.7. 3D друк.....	369
10.8. Великі дані.....	371
10.8. Інтернет речей.....	373

10.9. Штучний інтелект.....	374
10.10. Блокчейн.....	376
10.11. Поточні виклики та перспективи на майбутнє.....	377
10.12. Роботи для виробництва молока і молочних продуктів.....	378
10.12.1. Подолання розриву між традиціями та новітніми технологіями.....	378
10.12.2. Типи робіт та їх вплив на виробництво молока.....	380
10.12.3. 6-осьові та промислові роботи.....	384
Питання для самоконтролю.....	389
Рекомендована навчальна література.....	390
Розділ 11. ПАКУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
ПАКУВАННЯ ДЛЯ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ І РІДКОГО МОЛОКА.....	392
11.1. Види пакувальних матеріалів у молочному виробництві.....	392
11.2. Інновації в технології пакування молочних продуктів.....	397
11.2.1. Упаковка з контрольованою та модифікованою атмосферою.....	397
11.2.2. Активна упаковка.....	397
11.2.3. Мітки RFID (Radio Frequency Identification).....	398
11.2.4. Інтелектуальна біосенсорна упаковка.....	398
11.2.5. Вбудовування QR-коду.....	400
11.2.6. Асептична упаковка.....	400
11.3. Майбутнє упаковки молочних продуктів	405
Питання для самоконтролю.....	406
Рекомендована навчальна література.....	407
Розділ 12. ВІДХОДИ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
І ЇХ УТИЛІЗАЦІЯ	408
12.1. Вплив молочної промисловості на стан навколишнього середовища.....	408
12.2. Очищення молочних стічних вод за допомогою інноваційної технології мембранної сепарації.....	409
12.2.1. Методи мембранної фільтрації.....	410
12.2.2. Коагуляція як процес попередньої обробки для підвищення швидкості агрегації частинок	412

12.2.3. Адаптація варіантів техніки 3D-друку до виробництва мембран.....	415
12.2.4. Застосування мікрофільтрації, ультрафільтрації, нанофільтрації та зворотного осмосу в процесах розділення, концентрування та очищення молочних стічних вод.....	417
12.3. Вплив молочних відходів на довкілля та форми життя.....	418
12.4. Сучасні технології обробки відходів молочного виробництва.....	419
12.5. Молочні відходи до продуктів із доданою вартістю.....	422
Питання для самоконтролю.....	425
Рекомендована навчальна література.....	426
Розділ 13. СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ	
В ОБЛАДНАННІ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА.....	427
13.1. Матеріали, що використовуються у виробництві обладнання для переробки молока.....	427
13.1.1. Метали. Чавун і сталь.....	429
13.1.2. Нержавіюча сталь.....	431
13.1.3. Алюміній і сплави.....	434
13.1.4. Мідь і сплави.....	435
13.1.5. Олово.....	436
13.1.6. Нікель і сплави.....	436
13.1.7. Хром і його сплави.....	437
13.2. Неметалеві матеріали.....	438
13.2.1. Скло.....	438
13.2.2. Пластмаси.....	438
13.2.3. Гума та прокладки.....	440
13.2.4. Деревина.....	440
13.3. Оздоблення поверхонь молочного обладнання.....	441
Питання для самоконтролю.....	442
Рекомендована навчальна література.....	443
ВИСНОВКИ.....	444
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	446

ВСТУП

Сучасні інноваційні розробки молочних харчових продуктів мають великі можливості для широкого впровадження у виробництво різноманітної за видами та якістю молочної сировини. Адже багато винаходів безпосередньо стосуються технологій виробництва кисломолочних продуктів, хлібобулочних і кондитерських виробів, напоїв, оздоровчої продукції тощо. Це потребує використання певного виду молочної сировини. Проблема в тому, що такої продукції дуже багато, і зі збільшенням виробничих потужностей харчових підприємств виникає необхідність збільшувати впровадження виробництва молочної продукції. Нині в харчовій промисловості кількість таких впроваджень, які б забезпечили наше населення необхідним дефіцитним тваринним білком, незначна. Крім того, в таких умовах харчування людей стає надто незбалансованим, особливо в зимовий період. Не менш важливою проблемою впровадження нових безвідходних технологій є слабка експериментальна база для створення нового конкурентоспроможного обладнання в лабораторних умовах. Запропонований до видання навчальний посібник надає достатнє уявлення відносно того, з якими проблемами стикаються виробники молочної промисловості у технологічному та технічному сенсі, коли мова йдеться про ефективну переробку молочної сировини з урахуванням усіх сучасних вимог до виробництва, а їх велика безліч.

Розроблена модель процесу, обладнання чи всієї лінії не матиме сенсу без здійснення певних інвестиційних вкладень. Навчальний посібник допомагає у розкритті основних моментів, вибору оптимальних рішень для комплексної безвідходної переробки молочної сировини, а також виокремлення найбільш чітких напрямів удосконалення молочної сировини та загального процесу, щоб надати деякі пояснення та пропозиції для уникнення основних проблем у сфері переробки молочної сировини. Проведено аналіз технологічних, технічних та організаційних питань, вирішення яких дозволить реалізувати інноваційні рішення з безвідходної переробки молочної сировини в умовах харчової

промисловості. Наведено якісні показники білково-вуглеводної молочної сировини для подальшого використання у виробництві молочної продукції та проаналізовано потреби майбутнього виробництва в іншій сировинній базі. Врахування сезонного розподілу використання в безвідходному виробництві окремих видів сировини забезпечить його надійну та стабільну роботу з одночасним розширенням асортименту кінцевої продукції. Розглянуто варіант технічного оснащення майбутнього безвідходного виробництва з переробки молочної сировини та її обслуговування на прикладі сучасних передових світових компаній. Враховуючи неосяжну кількість можливої сировини, відповідних технологій та обладнання автори навчального посібника зосередили свою увагу, а значить і увагу майбутніх читачів на найбільш просунутих інноваційних технологіях переробки молочної сировини, які не могли б бути втіленими у виробництво без належного сучасного обладнання, заходів автоматизації та роботизації підприємств галузі. Чіткий та зважений вибір технології та обладнання для модернізації або створення нових ліній безвідходної переробки молочної сировини та засобів її санітарної обробки має за мету підвищити конкурентоспроможність кінцевої продукції та виведення виробництва на сучасний технологічний рівень. Для післявоєнного періоду така ідеологія відбудови молочного виробництва в Україні має стати найбільш актуальною.

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти, які навчаються за ОПП Харчові технології за спеціальністю G13 Харчові технології першого (бакалаврського) і другого (магістерського) рівнів вищої освіти. Він може бути корисним в процесі вивчення дисциплін «Інноваційний інжиніринг харчових виробництв», «Новітні технології молочних, м'ясних та рибних продуктів», «Мікробіота, пробіотики та пребіотики», «Біотехнологія харчових виробництв», «Технології молочних, м'ясних та рибних продуктів» та багатьох інших. 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.

Автори виражають щиру подяку колегам та фахівцям у галузі харчових технологій за поради та рекомендації в процесі підготовки навчального посібника.

Розділ 1. ВИДИ МОЛОКА. ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ В КОРОВ'ЯЧОМУ МОЛОЦІ. ПАСТЕРИЗАЦІЯ ТА ІНШІ ТЕХНОЛОГІЇ УСУНЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ

1.1. Види молока

Молоко коров'яче – полідисперсна система, в якій вода є дисперсійним середовищем. У ній містяться цукор (лактоза) і неорганічні солі в розчиненому стані, білки – в колоїдному, ліпіди – у вигляді емульгованих кульок.

Лактоза також молочний цукор, $C_{12}H_{22}O_{11}$ – вуглевод групи дисахаридів, міститься в молоці і молочних продуктах.

Ліпіди – це група органічних речовин, що входять до складу живих організмів і характеризуються нерозчинністю у воді та розчинністю в неполярних розчинниках, як-от діетиловий, хлороформ та бензен.

Свіже молоко містить також гази (50–70% вуглекислого газу, 20–30% азоту і 5–10% кисню). Молоко містить 87,5% води. Із 12,5% сухих речовин в середньому 3,5% припадає на жир, 3,2% – на білки, 0,04% – на небілкові азотисті основи, 4,7% – на лактозу, 0,7% – на мінеральні речовини. Крім перерахованих основних компонентів, в молоці містяться вітаміни, ферменти, пігменти. Молоко містить вітаміни – B_1 , B_2 , B_6 , B_{12} , PP, C, H, A, D, E; ферменти – природна та мікробна ліпаза, β -галактозидаза або лактаза; природні барвники – пігменти (каротин – забарвлює молоко та молочний жир в помаранчевий колір, рибофлавін або вітамін B_2 – зумовлює жовто-зелене забарвлення молочної сироватки).

Ліпаза – водорозчинний фермент-естераза, що каталізує гідроліз нерозчинних естерів – ліпідних субстратів, допомагаючи перетравлювати, розчиняти і фракціонувати жири. Більшість ліпаз діють на специфічний фрагмент гліцеринового скелета в ліпідному субстраті.

Лактаза – член сімейства ферментів- β -галактозидаз, який каталізує гідроліз дисахариду лактози на мономерні галактозу і глюкозу.

Перші 2–2,5 год свіжовидоєне молоко має імунні властивості.

Хімічний склад молока залежить від породи тварин, їх віку, умов утримання, стадії лактації, інших чинників і може бути різним в різних географічних районах (середня смуга, степова зона, передгір'я і т. д.). Вода в молоці знаходиться у вільному і зв'язаному станах. Більша частина води (84–84,5%) міститься у вільному стані, виконуючи функції розчинника для водорозчинних компонентів – молочного цукру, мінеральних речовин, вітамінів, кислот.

Серед білків молока розрізняють чотири фракції: казеїнову (85–87%), лактоальбумінову (11–13%), лактоглобулінову (1,5–1,7%) і протеазо-пептонову (0,3–0,5%). Основний білок молока казеїн коагулює за рН 4,6–4,7. Білки, що залишаються після відділення казеїну називаються сироватковими.

Молочний жир складається з комплексу складних естерів гліцерину і монокарбонових жирних кислот, фосфоліпідів (лецитину, кефаліну та ін.), стеринів, жиророзчинних вітамінів та ін. Вуглеводи в молоці представлені на 90% лактозою (молочним цукром) та невеликою кількістю глюкози і галактози. Розрізняють α і β -форми лактози, остання краще розчиняється у воді. У молоці лактоза міститься в основному (60%) в β -формі. Обидві форми лактози існують в динамічній рівновазі і за певної температури можуть переходити одна в одну.

Лактоза є основним вуглеводом молока. Вона позитивно впливає на організм людини: допомагає засвоєнню кальцію і фосфору їжі, поліпшує склад мікрофлори кишківника завдяки тому, що внаслідок бродіння лактози утворюється молочна кислота, яка подавляє розвиток гнилісних бактерій. Крім того, її компонент галактоза необхідна для побудови нервових і мозкових тканин людини. Лактоза піддається бродінню після попереднього розщеплення лактазою (β -галактозидазою, яка виділяється молочнокислими бактеріями та деякими дріжджами) на її складові: глюкозу і галактозу.

Організм деяких людей не синтезує достатню кількість β -галактозидази, що порушує засвоєння лактози і призводить до розладів травлення після вживання молока. Лише в цьому разі допускається обмеження частки молочних продуктів у структурі харчування або їх повне виключення з раціону. Здатність

лактози зброджуватися під дією ферментів молочнокислих бактерій використовується у виробництві кисломолочних продуктів і водночас ця властивість є причиною швидкого псування молока під час зберігання.

Солодкість лактози в 5–6 разів менше сахарози, і вона є розчинною у воді. За тривалого нагрівання молока (вище 90°C) лактоза утворює з вільними азотистими сполуками меланоїдини, що надають молоку кремового відтінку, відповідно змінюється смак і знижується його біологічна цінність. Найбільш активно реакція мелаїдиноутворення між лактозою і амінокислотами відбувається під час стерилізації, згущенні і сушці молока.

У молоці міститься декілька ферментів: оксидоредуктаза (редуктаза, пероксидаза), гідролази (протеаза, лактаза, амілаза, ліпаза, фосфатаза та ін.) і трансферази. З молока виділені 20 ферментів, більша частина яких потрапляє в молоко з молочної залози. Інші ферменти утворюються в молоці в результаті дії мікрофлори. Редуктаза накопичується в молоці за рахунок розвитку бактерій, тому редуктазна проба використовується для оцінки бактерійною обсіменіння молока.

Все молоко, що надходить на переробку і в торгівельну мережу, проходить пастеризацію.

Молоко осяляче. У зв'язку з поширенням захворювань, особливо алергічного характеру, люди все частіше повертаються до старих вирішення проблем зі здоров'ям. Так країни Заходу знову почали цікавитися осялячим молоком з точки зору науки і поживності цього напою. Його поживні властивості близькі до властивостей людського молока. Зрештою, осяляче молоко почали давати дітям з алергією на білок коров'ячого молока.

Через високий вміст лактози цей напій дуже солодкий на смак і привабливий в цьому плані. Крім того, саме завдяки лактозі краще засвоюються елементи, такі як кальцій, фосфор, магній і бор. Осяляче молоко не містить багато жирів, але потрібно знати, що до складу його входять незамінні жирні кислоти. Співвідношення в ньому жирних кислот омега-3 до омега-6 сильно відрізняється від аналогічних напоїв. Співвідношення кальцію і фосфору в осялячому молоці

близько до співвідношення цих елементів в людському. У ньому також міститься лізоцим, що підтримує імунітет.

Лізоцим – дієтична добавка, яка покращує роботу дихальної системи та підвищує опірність організму, ефективна проти бактерій, вірусів та грибків. Основний компонент засобу – однойменна речовина з класу білкових ферментів, відома своїми загально-зміцнюючими, антисептичними, протизапальними властивостями

Завдяки тому, що в даному напої спостерігається також невелика кількість мікроорганізмів, лізоцим ефективно уповільнює розвиток бактерій. Вміст води в ньому теж можна порівняти з кількістю води в людському молоці. Особливість осялячого молока – це низький вміст казеїну (тобто білка, що є алергеном). Крім того, воно має більше вітамінів А, С, Е і D, ніж коров'ячий різновид.

Ця рідина підходить дітям з алергією на білок коров'ячого молока. Крім того, рекомендується вона особам, ураженим остеохондрозом і хворим на остеопороз. Рекомендується також пацієнтам після травм кістки, під час хіміотерапії та відновлення після агресивних методів лікування, наприклад, операцій, тривалого прийому антибіотиків, а також людям, які бажають подбати про здоров'я. Це молоко не повинно бути в меню людей з непереносимістю лактози.

Крім внутрішнього застосування, воно використовується також для виробництва косметики. Воно є цінним компонентом зволожуючих і поживних кремів, і лосьйонів. На його основі також розробляють косметичні засоби з антивіковою дією. Креми з осялячим молоком забезпечують дбайливий догляд за шкірними покривами. Як і у випадку з кінським, в даному випадку можна придбати кумис – тобто ферментований, дуже поживний алкогольний напій.

У XIX столітті в Англії осяляче молоко було цінним замінником материнського і його продажі зберігалися на постійно високому рівні. Також стародавні греки і римляни годували їм своїх дітей, а Гіппократ вважав його чудовим нектаром, здатним вилікувати навіть кровотечі з носа. Коли французький король Франциск I серйозно захворів через виснаження і сильний

стрес, лікар з Константинополя поставив імператора на ноги, годуючи його саме молоком ослиці. Навіть папа Римський Франциск згадує, що в дитинстві його годували ним, і на все життя він залишався його великим шанувальником.

Виробництво даного напою натикається, однак, на деякі складності, які проявляються в тому, що ринкова ціна цього напою дуже висока. Історія розведення ослів сягає понад 4,5 тисячі років, однак тривалий час їх переважно використовували як тяглових тварин. Через це м'ясо осла в багатьох культурах вважалося табу, і навіть сьогодні в ряді країн, таких, як Франція чи Італія, воно не використовується. З молоком ситуація ще більш складна, бо ці тварини вагітніють рідше, ніж корови, у них є тільки два соска, ними вони і годують дитинчат в перші шість місяців після пологів. В результаті, в порівнянні з коровою, яка в день дає до 40 літрів молока, самка осла виробляє до двох літрів в день. В Європі, правда, є ферми, що спеціалізуються на розведенні ослів. Але їх ефективність не має порівняння з коров'ячими або козячими, а значна частина продукції призначена для потреб косметичної промисловості. Найчастіше з нього виробляють креми на основі осялячого молока. Що цікаво, на відміну від коров'ячого або козячого, цей напій не піддається пастеризації. Не містить він шкідливих бактерій і підходить безпосередньо для споживання. А вживати його варто.

Маски з осялячим молоком застосовували в косметології ще в стародавні часи. Найбільш відомою людиною, яка регулярно купалась в ньому була, звичайно, Клеопатра – цариця Єгипту. Відповідно до легенди, для ванни знадобиться молоко 700 ослиць. Але не тільки Клеопатра дбала про свою краса, використовуючи властивості цієї рідини. Сабіна, красуня-дружина римського імператора Нерона тримала 500 ослиць спеціально для виробництва молока, яке використовувала в косметичних цілях. Історія також згадує про Нефертіті і Імператрицю Сісі, які з великим успіхом застосовували цей напій для щоденного догляду за тілом. І за відгуками, креми з осялячим молоком дійсно покращують стан шкірних покривів людини.

Ненасичені жирні кислоти (омега-3, омега-6), добре впливають на поглинання вітамінів. Завдяки цьому, за відгуками, осяляче молоко надає шкірі еластичність і робить її пружною. Полегшують симптоми екземи та псоріазу. У ньому є також лінолева кислота, яка є компонентом людського шкірного сала, забезпечує йому потрібну в'язкість і щільність. Молочні ліпіди живлять шкіру і захищають її від УФ-випромінювання. Білки осялячого молока багаті амінокислотами. Вони стимулюють вироблення колагену та еластину в шкірі. Затримують також воду в епідермісі. Перш за все, забезпечується шкірі еластичність і пружність. Звичайно, сповільнюються ефекти старіння. Після 2 тижнів, за відгуками, жінки помічають, що шкіра стає шовковою на дотик і дуже ніжною. Крем з додаванням цього компонента відмінно захищає від сонця шкіру.

Доктори-педіатри в лікарні Святої Анни в Турині, стверджують, що молоко ослиць є настільки близьким за властивостями до молока людського, що протягом багатьох століть воно вважалося природним антибіотиком в перші місяці життя дитини. Проте, воно не настільки калорійно, щоб повноцінно могло замінити для немовляти молоко матері. Ідея використання даного компонента ще не є дуже популярною в світі. По-перше, ослів ніколи не розводили з думкою про те, що можна отримувати від них молоко. Втім, особливості цих тварин і не припускають великого обсягу такої продукції. Цей продукт можна з легкістю знайти на ринку косметичних засобів. Масок, які в своєму складі містять осяляче молоко, представлено на прилавках досить. Вони рекомендуються не тільки для отримання красивої і пружної шкіри, але також при лікуванні псоріазу або екземи. Часто застосовуються косметичні засоби, які містять цей інгредієнт, саме влітку.

Оленяче молоко. Багато людей можуть здивуватися, почувши про існування оленячого молока. Незважаючи на це, воно існує і навіть активно вживається в їжу в північних регіонах, де його називають необхідним продуктом при проживанні в місцях з суворим кліматом. Які ж особливості має оленяче молоко? На сьогоднішній день молоко оленя видобувається лише в північних регіонах країн, через що люди, які проживають за межами Полярного кола,

зазвичай нічого не знають про даний продукт. За півроку самка оленя здатна дати більше 100 кг продукту. Кількість білків, жирів, вуглеводів, що містяться в такому молоці, значно більше, ніж в будь-якому іншому (наприклад, в молоці оленя жирів в 5 разів більше, ніж в коров'ячому). Саме ці властивості і зробили продукт незамінним для вживання в суворих регіонах. Раніше оленяче молоко зберігали у вивернутих шлунках тварин. Молоко і масло при цьому тримали в туесах, які виготовлялися з двох шарів берести.

Туес – невеликий берестяний короб із кришкою. Класичний туес має циліндричну форму.

Для звичайної людини оленяче молоко здатне стати відмінною заміною коров'ячого, але при цьому воно містить набагато більше жирів і білків. Деякі порівнюють даний продукт з вершками, так як він має досить в'язку консистенцію. З цієї причини і смак у такого молока не зовсім стандартний – пити його в сирому вигляді зможе далеко не кожен. Люди, які вживають його на постійній основі, говорять про терпкий і різкий смак, проте якщо розбавити його водою, смак стає цілком приємним. Часто оленяче молоко використовують в якості добавки до чаю, в Норвегії та Фінляндії з нього масово роблять сир. Раніше з нього виготовляли і масло, яке володіло зеленуватим відтінком і твердою консистенцією (через високий вміст жиру). Сьогодні масло практично не виробляється через відсутність на нього попиту.

В першу чергу, варто відзначити, що до складу продукту входять лише "зразкові жири", які добре сприймаються організмом і засвоюються більш ніж на 98 %. Якщо звернути свою увагу на склад оленячого молока, то можна побачити, що воно складається з: 63,3% води; 36,7% сухих речовин; 10,3% білків; 22,5% жиру; 2,5% молочного цукру. Калорійність продукту при цьому становить 272 кілокалорії на 100 г. Завдяки вмісту в оленячому молоці речовин-антиоксидантів, воно стає відмінними ліками проти старіння. А наявність кальцію допоможе зберегти і відновити кісткові тканини. Крім цього, можна виділити ще кілька корисних властивостей продукту. Завдяки вмісту в складі вітаміну D оленяче молоко покращує засвоєння кальцію і підвищує імунітет. Продукт містить в собі

речовини, що впливають на гормон серотонін, який, в свою чергу, впливає на настрій людини. Молоко містить в собі велику кількість калію, який відіграє важливу роль у розвитку нервової системи, розширенні судин, зниженні артеріального тиску, нормалізації тиску і серцевого ритму. Білок є головним "будівельником" м'язової тканини людини. А як було написано вище, білка в оленячому молоці в 3 рази більше, ніж в коров'ячому.

Оленяче молоко є комплексним продуктом, який містить в своєму складі безліч компонентів – білків, жирів, вітамінів, кислот та ін. У зв'язку з цим молоко оленя може викликати у людини алергічну реакцію, причому як в сирому вигляді, так і у вигляді продуктів його переробки. Непереносимість продукту може проявлятися з двох причин: через нестачу лактози-речовини, що відповідає за засвоєння молока; через наявність алергії на молочний білок. Як правило, дані форми непереносимості молока зустрічаються лише у дітей, однак і люди дорослого віку нерідко страждають цією проблемою.

Верблюдаче молоко або верблюже молоко – молоко, яке отримують від домашніх верблюдів. Виробництво та споживання даного продукту найбільше поширене в першу чергу в пустельних та посушливих регіонах: зокрема, представники деяких племен, які готують з нього подобу йогурту, можуть більше місяця харчуватися одним цим продуктом.

На кількість отриманого молока та його поживний склад впливають багато факторів, в тому числі кількість і раціон харчування тварини, частота прийому рідини, кліматичні показники, вік, частота доїння, догляд за телятами, метод доїння (ручне або машинне), стан здоров'я верблюдиці та її репродуктивний статус. Верблюди, що розводяться заради молока, часто живуть в складних природних умовах, що ускладнює порівняння з показниками надою між дромадерами і бактріанами, а також між різними популяціями одного і того ж виду.

Дромадер – вид жуйних парнокопитних тварин; одногорбий верблюд, дромеда, арабський верблюд.

Бактріан – верблюд двогорбий – вид ссавців роду верблюд родини верблюдових.

В аналогічних умовах розведення верблюдяче молоко за вмістом білка та жиру приблизно аналогічно коров'ячому, але містить втричі більше вітаміну С і при цьому не містить β -лактоглобуліну. Воно підходить як замітник молока для людей з алергією на коров'яче молоко та, за деякими даними, може бути корисним при atopічному дерматиті.

Атопічний дерматит – це хронічне запальне захворювання шкіри, що характеризується сухістю, свербінням та висипаннями.

Близько 4 літрів верблюдячого молока задовольняє добову енергетичну потребу людини, а також його потреби в білку. На відміну від корів та кіз верблюди можуть давати молоко навіть у посушливий сезон і в періоди повної посухи, а також можуть прожити до трьох тижнів без води (в залежності від вмісту вологи в кормі). Без води верблюди дають більш розбавлене молоко (91% води в порівнянні з 86% для тварини, що одержує достатню кількість питної води); таке молоко – цінне джерело води для телят (і людей). Зневоднений верблюд дає також пісніше молоко з трохи більше 1% жиру. Верблюди, здатні давати молоко навіть при годуванні неякісними кормами, є надійним варіантом забезпечення продовольчої безпеки в регіонах зі складними природними умовами.

Козяче молоко. Хімічний склад і властивості молока кіз близький до складу і властивостей коров'ячого. Воно відрізняється лише вищою кількістю білка, жиру і кальцію; містить чимало каротину, тому має блідо-жовте забарвлення. У жирі козячого молока міститься більше капринової та лінолевої кислот, і кульки жиру дрібніші, що сприяє кращому його засвоєнню організмом людини. Амінокислотний склад його білків близький до амінокислотного складу білків жіночого молока, але міцели казеїну більші, ніж міцели казеїну жіночого та коров'ячого молока, мають розмір від 133 нм і вище. Казеїн козячого молока містить мало α -фракцій (10–15 %), тому під час сичужного згортання утворюється нещільний згусток.

Козяче молоко багате вітаміном А і ніацином, містить трохи більше заліза і магнію ніж в коров'ячому молоці.

Під **сичужною згортасмістю** молока розуміють здатність його білків до коагуляції під дією внесеного сичужного ферменту з утворенням щільного згустку. Здатність молока до сичужного згортання визначається в першу чергу наявністю в ньому казеїну та солей кальцію.

Ніацин, також відомий як ніотинова кислота, є органічною сполукою та вітаміном В₁, а також необхідною поживною речовиною для людини. Його виробляють рослини і тварини з амінокислоти триптофану.

Кислотність козячого молока близько 17-19 °Т (рН = 6,4 ÷ 6,7), густина- 1033 кг/м³. Козяче молоко менш терmostійке (витримує t=130 °С протягом 19 хвилин), тому що містить більше іонізованого кальцію.

У козячого молока лужна реакція, внаслідок чого у разі загострення виразки шлунку або дванадцятипалої кишки козяче молоко є добрим доповненням до лікування. Козяче молоко використовують для лікування шлунково-кишкових захворювань, туберкульозу, виведення з організму солей важких металів, очищення організму від наслідків хіміотерапії, для дитячого харчування. Допомогає у лікуванні захворювань щитоподібної залози. Сире козяче молоко менш небезпечне, тому що кози стійкіші до захворювань, ніж корови. Козяче молоко використовують для виробництва ропних сирів, зокрема бринзи.

Кобиляче молоко. Склад молока кобиліці значно відрізняється від складу молока корови та інших тварин. У ньому міститься в 2 рази менше білків, жиру і мінеральних речовин, майже в 1,5 рази більше лактози, ніж у коров'ячому. Кислотність молока низька – близько 6°Т (рН=6,6÷7,0), густина – 1032÷1034 кг/м³. За кількістю і складом білків, а також вмістом лактози кобиляче молоко наближається до жіночого. Воно належить до молока альбумінової групи – на частку казеїну в ньому припадає 50÷60 % загальної кількості білків. Тому в процесі згортання кобилячого молока не утворюється щільного згустку, білок випадає в осад у вигляді ніжних дрібних пластівців.

Молоко має високу біологічну цінність. Його білки і жир добре засвоюються. Жир молока має низьку температуру плавлення $21\div 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, містить (порівняно з жиром коров'ячого молока) менше низькомолекулярних, але більше насичених жирних кислот. Кількість полінасичених жирних кислот в ньому майже в 10 разів вища, ніж у коров'ячому. Білки мають добре збалансований амінокислотний склад. Кобиляче молоко значно перевершує коров'яче за вмістом аскорбінової кислоти, її кількість може сягати 13 мг/м^3 і більше, однак воно містить менше рибофлавіну. Кобиляче молоко на вигляд є білою з блакитним відтінком рідиною, смак трохи терпкий. Це молоко використовують для приготування цінного дієтичного і лікувального продукту – *кумису*. З ферментованого кобилячого молока шляхом перегонки виготовляють напій під назвою «Арца» (своєрідний аналог горілки).

Овече молоко. Овече молоко можна отримувати від різного напрямку порід. Прикладами спеціалізованих молочних порід овець є в Німеччині – East frizki, в Франції –Lacaune, в Греції – Ghios, у Великій Британії – Milkssheep, в Ізраїлі – Asaf та Awassi, які дають від 181,43 до 498,95 кг молока в період лактації, в США – Polupay Dorset, вівці якої виробляють від 45,35 до 90,71 кг молока за період лактації. Молочна продуктивність овець в Україні сягає 135–150 кг за підсисний період.

Підсисний період (лактаційний період) – час, протягом якого самиці ссавців годують малят молоком.

За породними характеристиками найбільшу продуктивність має романівська порода – 127–142 кг, каракульська дає 65–70 кг молока за лактацію, в овець тонкорунних порід 35–65 кг. Молоко овець у сирому вигляді зазвичай рідко споживають, а здебільшого його переробляють на молочні продукти, серед яких в Україні найпоширеніший сир – бринза. У світі виробляють такі тверді та м'які сири: Рокфор, Горгонзола, Кашкавал, Пекоріно, а також кавказькі сири: Шор, Курт, Чанах, Мотал, Арагайський, Єреванський.

Молоко овець має м'який, дещо солодкуватий смак. Цінність овечого молока за поживними речовинами є значно вищою від коров'ячого, козячого та

навіть від жіночого молока. Молоко овець містить вдвічі більше мінералів, особливо таких, як кальцій та фосфор, що необхідні для всякої виснажливої роботи; наявність цинку має важливе значення для підтримання здорової шкіри, а також воно містить усі важливі вітаміни, переважно групи В та цінний амінокислотний склад. Характерною особливістю молока овець є те, що за глибокого заморожування терміном до 4 місяців молоко овець не втрачає своїх цінних властивостей. Білок овечого молока перетравлюється в організмі людини на 99,1 %, у той час як коров'ячого – на 92,6 %. Молоко овець поживніше від коров'ячого і козячого, в ньому міститься більше сухих речовин у 1,4 рази (18–20 %), жиру – в 1,8 рази (6,5–7,2 %), білка – в 1,7 (5,5–6 %), а його енергетична цінність вища у 1,5 рази. З овечого молока виготовляють різні види твердих і м'яких сирів: рокфор, пікаріно, тушинський, кобійський, осетинський, качкавал тощо.

Буйволине молоко. Молоко буйволиці є продуктом високої харчової цінності. Буйволине молоко належить до казеїнового типу молока за характером білка. Має такий склад: 4,5 % білка (3,8 % казеїну, 0,7 % альбуміну і глобуліну); 7,7 % жиру; 4,8 % молочного цукру; 0,8 % мінеральних речовин.

Калорійність буйволине молоко становить 1010 ккал на 1 кг продукту. Молоко буйволиці містить більше поживних речовин, ніж коров'яче молоко. Буйволине молоко є густішим, насиченим, жирнішим від коров'ячого молока. Воно надзвичайно енергетичне і досягає понад 10 відсотків жирності. Молоко від буйволиць переробляється на сири різних видів, моцарелу, рікоту, плавлені сирки, йогурт, морозиво, кефір, вершки. Молоко збагачене кальцієм, великим складом мікроелементів, вітамінів В₁₂, А, С, і, на відміну від коров'ячого, не має холестерину. Молокопродукти корисні для зміцнення зубів, серцево-судинних захворюваннях, для профілактики від хвороб щитовидної залози, зміцнення імунної системи.

Молоко в різних культурах. У деяких культурах (наприклад у Китаї, Японії і на островах Полінезії) молоко не вживають, оскільки організм більшості людей монголоїдної раси не здатний його засвоїти (генетична неможливість

засвоєння однієї зі складових молока – лактози). Близько 75–80 % європейців мають здатність перетравлювати молоко. Багато людей центральної та північної Європи і частково Африки споживають молоко – на відміну від інших ссавців – і в дорослому віці (після періоду годування грудьми). Для порівняння, цей відсоток серед китайців становить близько 2 % від всього населення.

У деяких народів молоко мало церемоніальне значення, і його часто віддавали у жертву богам і духам. Така традиція існувала і у давніх слов'ян.

1.2. Біологічне та хімічне забруднення коров'ячого молока

В даний час коров'яче молоко є найбільш споживаним продуктом у світі. Однак через різні прямі та непрямі джерела забруднення в коров'ячому молоці були виявлені різні хімічні та мікробіологічні забруднювачі. Важливо визначитись з основними забрудненнями, які виявлені в коров'ячому молоці, джерелами забруднення та їхнім впливом на здоров'я людини. Такий підхід підкреслює низьку ефективність і наслідки процесу пастеризації, в порівнянні з іншими методами обробки коров'ячого молока. Незважаючи на те, що пастеризація та пов'язані з нею методи є найбільш широко застосовуваними на сьогоднішній день, вони не продемонстрували ефективності у видаленні забруднень. Нові технології з'явилися як альтернатива пастеризації. Однак, окрім спричинення фізико-хімічних змін у сировині, їхня ефективність не є повною в усуненні хімічних забруднень, що свідчить про необхідність нових досліджень, щоб знайти рішення, яке сприятиме підвищенню безпеки харчових продуктів.

Молоко – це рідина, що виділяється самками ссавців і задовольняє харчові потреби новонародженого, наприклад: енергетичну частину (організм забезпечується ліпідами, лактозою та в надлишку білками), також важливими компонентами обміну речовин є незамінні амінокислоти та аміногрупи, незамінні жирні кислоти, вітаміни, неорганічні елементи і вода.

Світове виробництво молока зросло приблизно на 20% за останнє десятиліття, з 694 мільйонів тон у 2008 році до 843 мільйонів тон у 2018 році. Як наслідок, коров'яче молоко є найбільш споживаним харчовим продуктом, що

становить близько 48% від загального споживання молока. У всьому світі Європейський Союз (ЄС), Австралія та Нова Зеландія є найважливішими виробниками, за якими йдуть Сполучені Штати та Індія.

Методи аналізу молока в Україні. Масову частку лактози в молоці визначають хімічними або фізичними методами. До хімічних відносяться стандартні методи: йодометричний та перманганатометричний. Поляриметричний та рефрактометричний методи відносяться до фізичних методів.

Хімічні методи визначення лактози та інших редукуючих цукрів ґрунтуються на їх відновлювальних властивостях у випадку взаємодії з певним окисником. Так, молекула лактози яка побудована із моносахаридів глюкози та галактози містить один глікозидний гідроксил, тому вона у розчинах перебуває у двох таутомерних формах – циклічній і альдегідній, які зв'язані між собою рухомою рівновагою. У зв'язку з цим лактоза виявляє відновні властивості. Альдегідна група в її молекулі легко окиснюється в карбоксильну і лактоза перетворюється на лактобіонову кислоту. Присутність вільних альдегідних або кетонів груп у складі моно- та дисахаридів зумовлює відновні властивості вуглеводів в окисно-відновних реакціях. Вуглеводи, які в окисно-відновних реакціях можуть виступати відновниками, називаються редукуючими (відновлюючими) цукрами. Лактоза у цьому випадку є редукуючим дисахаридом. Таким чином, під час хімічного аналізу, знаючи точну концентрацію розчину окисника, за допомогою індикаторів визначається його кількість, яка вступила в реакцію з розчином редукуючого цукру невідомої концентрації. За відомою кількістю розчину окисника розраховують масову частку вуглеводу в розчині та перераховують її на масу продукту.

Якщо ж одразу використати певну відому кількість розчину окисника в надлишку, то в подальшому визначається не кількість окисника, яка пішла на взаємодію з редукуючим цукром, а залишок окисника після реакції. В цьому випадку поряд з основним проводять так званий контрольний дослід, де замість розчину редукуючого цукру використовують дистильовану воду. Масова частка

редукуючого цукру визначається порівнянням результатів контрольного та основного дослідів. Одним із таких способів визначення кількості лактози в молоці стандартом (ГОСТ 8764-73) передбачений йодометричний метод.

Для аналізу молока існують сучасні прилади (рис. 1), які дають змогу визначити основні його параметри за короткий час (від 80 с і до 2 хв.).

Аналізатор молока ультразвуковий Лактоскан 60 (рис. 1а) вимірює відсотковий вміст жиру, білку, лактози, сухого знежиреного молочного залишку, кислотність, вміст води, густину, температуру молока і точку замерзання, провідність (для визначення солей, мийних та інгібуючих речовин).

Аналізатор молока Клевер-2М (рис. 1б) призначений для виміру масової частки жиру, білку, лактози, мінеральних солей (золи) і густини в молоці і молочних продуктах у відповідності з методикою виконання вимірів, атестованою у встановленому порядку. Додатково аналізатор вимірює або розраховує на основі вимірянних даних масову частку сухого молочного залишку, знежиреного молочного залишку, міру гомогенізації і точку замерзання молока, а також відображає температуру проби і розраховує кількість доданої води. Принцип дії аналізатора заснований на тому, що через зразок пропускають ультразвукові коливання і реєструють значення вихідних сигналів в залежності від значень вимірюваних параметрів молочного продукту.

Аналізатор молока LactoStar (рис. 1в) визначає вміст жиру, білку, сухий знежирений молочний залишок, мінеральні солі, точку замерзання. Це аналізатор з автоматичним промиванням і автоматичною установкою нульової точки, тобто щоденні процедури очищення, промивання і установки нуля здійснюються автоматично. LactoStar може містити в пам'яті 20 калібрувань для різних продуктів – різних типів молока, вершків і тому подібне. Можна швидко переходити від одного калібрування до іншого, не перекалібровуючи прилад.

Аналізатор молока Bentley 150 (рис. 1г) – це компактний високоточний інструмент для аналізу молока і молочних продуктів, здійснює аналіз компонентів молока, включаючи жир, білок, лактозу, сухі речовини, сухий знежирений залишок і воду. Продуктивність приладу – 150 аналізів за годину.

Має можливість аналізу не лише сирого молока але і пастеризованого, а також молочних продуктів (вершків, йогурту, сметани). Нині з використанням цього приладу розроблений новий Національний стандарт за визначенням жиру, білку, лактози методом інфрачервоної спектроскопії.



а



б



в



г

Рис. 1. Сучасні прилади для аналізу молока й молочних продуктів:
а – аналізатор молока ультразвуковий Лактоскан 60; б – аналізатор
молока Клевер-2М; в – аналізатор молока LactoStar; г – аналізатор молока
Bentley 150 [1-4]

Збір і обробка піддають молоко різним видам забруднень, головним чином в молоко потрапляють залишки пестицидів, металів, мікотоксинів, гормонів та інших небезпечних речовин, які надходять до організму корови через годування

або введення лікарських препаратів виробниками при утриманні тварин. Таким чином, молоко може містити небезпечні речовини біологічного або хімічного походження.

Незважаючи на те, що пастеризація була ефективним антимікробним методом і сприяла профілактиці багатьох захворювань, кілька інфекційних епізодів, пов'язаних з пастеризованим молоком, продовжували траплятись, головним чином, коли в сирому молоці була присутня надмірна популяція мікроорганізмів, і через забруднення продукту після пастеризації. Найбільша проблема патогенних мікроорганізмів у пастеризованому молоці полягає в тому, що вони зберігаються, не викликаючи жодних органолептичних змін, а це підвищує санітарний ризик, оскільки споживач не може підозрювати їхню присутність. Тобто пастеризація має деякі недоліки при знищенні патогенних мікроорганізмів.

У міру зростання чисельності населення та промислового розвитку, з'явилися нові забруднювачі молока. Разом з цим відбувається забруднення коров'ячого молока не лише сполуками біологічного походження, але й сполуками хімічного походження, як згадувалося вище. Однак термічна обробка залишається єдиним класичним способом обробки сирого молока, хоча вона ефективна лише для усунення більшості біологічних і нехімічних сполук. Навпаки, в літературі згадується дуже мало альтернативних способів обробки хімічних забруднень у коров'ячому молоці, що призводить до критичного аналізу їх застосування з метою забезпечення достатньої якості питного молока. Враховуючи ці докази, необхідно ідентифікувати різні типи забруднень у сирому/пастеризованому коров'ячому молоці та проаналізувати застосування альтернативних процесів для усунення забруднень.

Існує кілька небезпек забруднення коров'ячого молока, починаючи від біологічних і закінчуючи хімічними сполуками. Ризик біологічного забруднення коров'ячого молока виникає в основному через доїння великої рогатої худоби, вплив навколишнього середовища, обладнання, сховищ, брудних труб тощо. Хімічне забруднення коров'ячого молока відбувається з кількох джерел:

застосування агрохімікатів, використання легальних або нелегальних ветеринарних препаратів, кормів забруднених природними токсинами, або через неправильне використання хімікатів під час різних етапів виробництва молока, його обробки та пакування.

Непряме зараження пов'язане з надходженням забруднюючих речовин як з навколишнього середовища, так і з ветеринарних препаратів. Найпоширенішими забруднювачами навколишнього середовища є мікотоксини, пестициди та метали, що споживаються великою рогатою худобою з кормами та водою. Крім того, антибіотики та гормони вводять корові перорально, ін'єкційно або у вигляді внутрішньовенних інфузій для лікування захворювань, стимулювання росту тварин і збільшення виробництва молока.

Внутрішньовенна інфузія – це один з парентеральних (тих, що не потрапляють у шлунково-кишковий тракт) способів введення лікарських речовин. Інфузія на відміну від ін'єкції дозволяє вводити медикаментозні розчини у великих кількостях (100, 200, 400 мл й навіть більше).

З іншого боку, пряме забруднення відбувається під час обробки молока в результаті доїння, транспортування, зберігання та навіть пастеризації. У процесі індустріалізації молоко вступає в контакт із металами, залишками засобів для миття, мікотоксинами тощо.

Велика чисельність літератури повідомляє про контамінацію коров'ячого молока патогенними мікроорганізмами. Хоча метою процесу пастеризації є знищення цих мікроорганізмів, є докази їх присутності в пастеризованому молоці, які будуть представлені пізніше. Хоча патогенні мікроорганізми вважаються основною небезпекою, що загрожує безпеці споживання молока, вони не є найбільшим відсотком зареєстрованих випадків забруднення молока. Забруднювачі, про які більше повідомляється в літературі, мають хімічне походження. Серед хімічних забруднювачів найбільше повідомлялося про важкі метали (22,18%), пестициди (22,05%) та антибіотики (22,18%); через їх широке застосування у сільському господарстві та скотарстві. Хоча повідомлень про

мікотоксини в молоці відносно мало (9,97%), вони мають велике значення через збільшення кількості зареєстрованих випадків зараження афлатоксином – AFM1.

Афлатоксини – клас природних мікотоксинів, що виробляються багатьма видами грибків роду *Aspergillus*, особливо *Aspergillus flavus* і *Aspergillus parasiticus*.

Міжнародне агентство з дослідження раку класифікувало AFM1 як канцерогенну речовину. Це означає, що харчова безпека молока під загрозою, оскільки будь-яка з цих сполук ставить під загрозу здоров'я кінцевого споживача.

Мікробні забруднення. Повідомлялося про наявність кількох патогенних мікроорганізмів у сирому та пастеризованому коров'ячому молоці. Мікробне забруднення сирого молока може бути спричинене такими захворюваннями, як мастит, неправильним поводженням на виробничих фермах, доїльним обладнанням, джерелами води та годівлею худоби, посудом та обладнанням, що використовується для зберігання молока на фермі або транспортування. Подібним чином недотримання правил гігієни в молочній промисловості може призвести до утворення біоплівки на спринклерах систем охолодження, трубах, охолоджуючих резервуарах, резервуарах для зберігання та транспортування. Контакт пастеризованого молока з цими поверхнями підвищує ризик зараження патогенними мікроорганізмами, становлячи небезпеку для споживача та якості продукту.

Більшість випадків зараження реєструється в сирому молоці через невідповідні умови доїння, обробки, зберігання та транспортування. З іншого боку, деякі дослідження повідомляють про наявність мікроорганізмів у пастеризованому молоці, тому сумнівно, що пастеризація є ефективним процесом для їх усунення. Основними типами мікроорганізмів, присутніх у молоці, є бактерії, дріжджі та цвіль, які представляють різні типи мікроорганізмів, присутніх у коров'ячому молоці. Наявність *Corynebacteria*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus* і *Micrococcus* видів була доведена в сосці молочної худоби. Ці мікроорганізми також були виявлені в коров'ячому молоці, що демонструє той факт, що під час доїння молоко може заражатися через

контакт із коров'ячим соском у негігієнічних умовах. З іншого боку, в результаті маститу у зразках коров'ячого молока було виявлено види *Staphylococcus* і *Streptococcus*, причому *Staphylococcus aureus* є основною причиною маститу.

Наявність *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.* та молочнокислих бактерій було виявлено в обладнанні для доїння. Очевидно, що умови, за яких отримують молоко на фермах, не є найадекватнішими, оскільки різноманітні мікроорганізми містяться в коров'ячому молоці. Споживання молока, зараженого патогенними мікроорганізмами, такими як *Campylobacter*, *Salmonella*, *Yersinia*, *E.coli*, *Listeria* та *S.aureus*, може викликати біль у м'язах і шлунку, шлунково-кишкові захворювання з діареєю, лихоманкою та нудотою. Ці мікроорганізми зазвичай зустрічаються в кишковій флорі або у вимені корів, таким чином сприяючи забрудненню молока. Крім того, *Campylobacter spp.* та *E. coli* здатні викликати синдром Гієна-Барре та гемолітико-уремічний синдром відповідно.

Синдром Гієна-Барре – гостра автоімунна запальна полірадикулонейропатія, яка проявляється млявими парезами і паралічами, порушеннями чутливості, вегетативними розладами.

Гемолітико-уремічний синдром – група уражень, яка характеризується зниженням рівня еритроцитів – анемія з гемолітичним компонентом; гострою нирковою недостатністю з виникненням уремії та низьким рівнем тромбоцитів. Початкові клінічні прояви зазвичай включають криваву діарею, гарячку, блювання та слабкість.

Хімічні забруднення. Для більш детального аналізу хімічні забруднювачі, виявлені в коров'ячому молоці, були класифіковані на п'ять груп: пестициди, метали, антибіотики, мікотоксини та гормони.

Пестициди. Декілька авторів повідомляли про різноманітні залишки пестицидів у сирому, пастеризованому та ультрависокотемпературному молоці. Це пояснюється, серед інших факторів, ліпофільними властивостями та стійкістю до біологічного розкладання цих типів забруднень. Існує три можливі форми, в яких пестициди можуть потрапити в організм тварини: через

забруднену воду, через пори шкіри, коли тварину обприскують або зволожують для лікування ектопаразитів, і через забруднений корм і фураж, останній є основним джерелом забруднення.

Виявлено наявність залишків фосфорорганічних пестицидів (малатион, метилпаратион, діазинон, етіон). Середні виявлені концентрації становили 0,032–0,78, 0,13, 0,32–0,74, 0,010 мкг/л (для малатиону, метилпаратиону, діазинону та етіону відповідно). Фіпроніл і хлорпірифос були виявлені у зразках води, яку дають худобі. Було також ідентифіковано ДДТ (дихлордифенілтрихлоретан), альдрин, гептахлорепоксид, ліндан, метоксиклор, діазинон і дельтаметрин у зразках води з тваринницьких ферм. Ці ж сполуки були виявлені в питній воді великої рогатої худоби та в коров'ячому молоці. Забруднена пестицидами вода, яка подається худобі, є одним із основних шляхів забруднення сирого коров'ячого молока.

Повідомлено про наявність залишків малатиону в коров'ячому молоці після того, як велику рогату худобу обприскували цим пестицидом для знешкодження ектопаразитів.

Ектопаразити – зовнішні паразитичні організми, які мешкають на поверхні тіла господаря на противагу ендопаразитам, які мешкають всередині тіл хазяїв.

Було виявлено, що малатион повністю виділяється з вимені через 24 години після застосування. На відміну від малатиону, ліндан, як повідомлялося, повністю не виводиться з молоком до семи днів після нанесення на шкіру корови. Залишки хлорпірифосу та етіону були виявлені в коров'ячому молоці до 24 та 72 годин після застосування відповідно. Це підтверджує, що шкіра, забруднена цими пестицидами, є ще одним шляхом зараження сирого коров'ячого молока.

У кормах було встановлено концентрацію $0,02 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ залишку ДДТ. Присутність циперметрину, хлорпірифосу, цігалотрину та дельтаметрину в кормах виявлено в діапазоні середніх концентрацій між $1,03\text{--}6,01 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$. Окрім цього у кормах виявлено також залишки ліндану, ДДТ, фенвалерату, етіону, малатиону, профенофосу. Середні їх концентрації коливалися в діапазоні $0,63\text{--}4,05 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$. Також повідомлялося про наявність дельтаметрину в кормі в діапазоні

концентрацій 41,99–381,30 мкг кг⁻¹. Інше дослідження виявило наявність у кормах для великої рогатої худоби малатиону, диметоату, метилпаратиону, діазинону. Діапазон виявлених концентрацій був між 0,01–80,45 мкг/л. Усі забруднювачі, зареєстровані у фуражі та кормах, також були виявлені в коров'ячому молоці. Таким чином, як і вода, забруднені пестицидами фураж і комбікорм є шляхом зараження, оскільки вони безпосередньо потрапляють у їжу великої рогатої худоби та виділяються через коров'яче молоко.

Пестициди є одними з найпоширеніших забруднювачів не лише в сирому коров'ячому молоці, але й після пастеризації та ультрапастеризації. Їх присутність у молоці, навіть нижче максимально допустимих рівнів, становить ризик для здоров'я споживачів. Серед інших це пов'язано з хворобою Ходжкіна, неходжкінською лімфомою, хворобою Паркінсона, ендокринними порушеннями, респіраторними та репродуктивними розладами.

Важливо відзначити, що хлорорганічні пестициди, такі як гексахлорциклогексан, дихлордифенілтрихлоретан та ендосульфат, незважаючи на те, що вони були заборонені з 1970-х років через їхню високу стійкість у навколишньому середовищі та шкідливий вплив на здоров'я людини, все ще присутні в коров'ячому молоці. Це свідчить про те, що вони все ще використовуються в сільському господарстві та тваринництві. За кількома винятками (цигалотрин, циперметрин, фенвалерат, дельтаметрин, перметрин і діазинонела), переважна більшість пестицидів, які містяться в коров'ячому молоці, не регулюються Кодексом Аліментаріус і ЄС.

Кодекс Аліментаріус – збірник міжнародно схвалених і поданих в однаковому вигляді стандартів на харчові продукти, розроблених під керівництвом FAO/WHO, спрямованих на захист здоров'я споживачів і гарантування чесної практики в торгівлі ними.

Це свідчить про низьку ефективність регуляторного контролю цих забруднюючих речовин у необробленому та постобробленому продукті, що призводить до неефективної безпеки цього харчового продукту.

Метали. Хоча метали надходять в навколишнє середовище природним шляхом або внаслідок промислової та/або сільськогосподарської діяльності, існує кілька шляхів, якими вони потрапляють у молоко. А саме, вживання зараженої їжі, корму та/або зараженої питної води. У ґрунті вони поглинаються багатьма видами культурних рослин, які, потрапляючи в організм тварин, проникають у лактуючі залози і, нарешті, виділяються з молоком. Обладнання, що використовується в молочній промисловості, є ще одним джерелом забруднення молока такими металами, як хром і нікель. Важкі метали, такі як кадмій, свинець, ртуть і миш'як, потрапляють у молоко шляхом непрямого контакту через корм, який споживає велика рогата худоба. Хоча в літературі не повідомляється про наявність металів у воді чи кормах, призначених для великої рогатої худоби, це може бути ще одним із основних шляхів забруднення.

У літературі повідомлялося про наявність кількох важких металів у сирому коров'ячому молоці. Метали, які знайдено в найбільших кількостях при дослідженнях сирого коров'ячого молока, це олово та молібден. Ці елементи не надто поширені в природі, і їх присутність у кормах або воді для споживання тваринами залежатиме від характеристик ґрунту, тоді як найбільше повідомляється про свинець, кадмій, мідь і цинк (через забруднення навколишнього середовища людиною, головним чином у промисловій діяльності). Такі мінерали, як Fe, Cu та Zn, необхідні для виконання різноманітних біологічних функцій. Однак висока концентрація цих мінералів негативно впливає на здоров'я людини. Свинець є одним із неосновних металів, класифікованих Міжнародним агентством з дослідження раку як канцерогенний для людини. Кадмій пов'язаний з порушенням роботи легень, нирок, молочної залози, передміхурової залози та сечовивідних шляхів людини, оскільки він впливає на проліферацію, диференціювання та іншу клітинну діяльність.

Жоден із важких металів, про який повідомляється в дослідженій літературі, не встановлює максимально допустимі рівні залишків Кодексом та ЄС. Однак відомо, що ці забруднювачі становлять високий ризик для здоров'я людини. Слід запровадити суворіші заходи контролю в молочній промисловості,

враховуючи, що коров'яче молоко є одним із найбільш споживаних продуктів у всьому світі.

Антибіотики. У тваринництві антибіотики використовуються трьома основними способами: терапевтичним, профілактичним і для стимуляції росту. Близько 80% молочної худоби принаймні один раз протягом життя піддаються лікуванню антибіотиками, які в основному використовуються як стимулятори росту та для лікування різних захворювань, таких як мастит, артрит, респіраторні захворювання, шлунково-кишкові захворювання та бактеріальні інфекції. Корови виводять антибіотики та їх метаболіти через молоко, залежно від дози та способу застосування, рівня молочної продуктивності, типу та ступеня захворювання молочної залози та часу між лікуванням і доїнням. З іншого боку, пероральне, внутрішньом'язове або внутрішньовенне введення є менш важливим з точки зору гігієни молока, ніж інтрамамарне застосування. Однак інтрамамарні антибіотики прості у застосуванні та загалом дешевші, тому їм надають перевагу на молочних фермах.

Інтрамамарні лікарські препарати для застосування у ветеринарії – специфічні ветеринарні стерильні лікарські препарати, призначені для введення в молочну залозу (через сосковий канал) у вигляді розчинів, емульсій, суспензій або м'яких ліків.

Найпоширенішим захворюванням у молочних корів є мастит, лікування якого включає широке використання тетрациклінів, β -лактамів, окситетрацикліну, дифлоксацину та ін. В останній групі найбільш використовуваними є пеніцилін, ампіцилін і амоксицилін. За даними літератури, було доведено наявність антибіотиків у молоці, виділивши тетрациклін, окситетрациклін, пеніцилін та амоксицилін. Іншими антибіотиками, про які менше повідомлялося, були рифаміксин, гатифлоксацин, спіраміцин і ломефлаксацин, без вичерпних вказівок щодо мети їх застосування для великої рогатої худоби.

Споживання молока із залишками антибіотиків є новою проблемою охорони здоров'я в усьому світі. Тому важливо контролювати наявність

залишків антибіотиків у їжі, щоб уникнути появи стійкості до цих антибіотиків у патогенної мікрофлори. Присутність антибіотиків у концентраціях, навіть нижчих за ГДК, у молоці може спричинити небажані наслідки для здоров'я людини, такі як ототоксичність і нефротоксичність, ендокринні порушення, гіперчутливість і особливо стійкість бактерій.

Ототоксичність – небажаний, токсичний вплив ліків, що застосовуються загально або місцево, який призводить до пошкодження тканин внутрішнього вуха або інших ділянок слухового або вестибулярного аналізатора.

Нефротоксичність – це властивість хімічних речовин, діючи на організм немеханічним способом, викликати структурно-функціональні порушення нирок.

Відповідно до дослідженої літератури, виявлено 43 антибіотики, присутні в коров'ячому молоці, 18 з яких не регулюються Кодексом і стандартами ЄС.

Враховуючи, що застосування антибіотиків у великої рогатої худоби призводить до утворення залишків у молоці, слід уникати їх надмірного використання та дотримуватися часу виведення з організму перед доїнням, щоб уникнути присутності цих забруднень.

Мікотоксини. На якість харчових продуктів зазвичай впливає забруднення токсинами, з яких від 60 до 80 % викликані мікотоксинами. Це означає ризик для здоров'я людей і великі економічні збитки в промисловому секторі. Мікотоксини є природними забруднювачами, що виробляються грибами *Aspergillus*, *Penicillium* і *Fusarium*, найбільш помітним є AFM1, який є результатом метаболізму афлатоксину В1 у печінці заражених тварин. У 1960-х роках було вперше зареєстровано випадок зараження афлатоксином, що викликало занепокоєння щодо цього типу забруднення. Навіть протягом цього десятиліття повідомлялося про велике споживання кормів, забруднених цим мікотоксином, що призвело до непрямого забруднення коров'ячого молока для споживання, а це поставило під загрозу безпеку молочних продуктів. Тому вважається, що основними шляхами надходження мікотоксинів у молоко є забруднені посіви та корми, споживані коровами.

Відомо, що приблизно 0,3–6,2% AFB1 (афлатоксин B1), присутнього в кормах для тварин, перетворюється на AFM1. Цей мікотоксин не розщеплюється та не видаляється ні під час промислових харчових процесів, таких як пастеризація та стерилізація, ні під час термічної обробки кормів. Ця проблема є важкою для вирішення на промисловому рівні через стабільність мікотоксинів загалом до термічної, фізичної та хімічної обробки.

Згідно з літературою, мікотоксин AFM1 є єдиним мікотоксином, який регулюється Кодексом і ЄС, і, відповідно до літератури, найбільше повідомляється про нього в коров'ячому молоці. Однак у цьому харчовому продукті були виявлені інші мікотоксини, такі як охратоксин А та зеараленон. Гриби роду *Aspergillus* і *Penicillium* виробляють охратоксин А, а гриби роду *Fusarium* виробляють зеараленон, який зазвичай міститься в кормах для великої рогатої худоби. З іншого боку, афлатоксин G2, афлатоксин G1, афлатоксин B2 і зеараланол демонструють меншу частоту у коров'ячому молоці. На відміну від AFM1, літератури про вплив на здоров'я людини, пов'язаний із споживанням молока, забрудненого мікотоксинами, мало або майже немає. Тому слід розширити дослідження цього типу забруднюючих речовин.

Гормони. Застосування гормонів у тваринництві підвищує продуктивність продукції. Їх жиророзчинні властивості сприяють їх високій стійкості та присутності в коров'ячому молоці завдяки високому вмісту жиру. Таким чином, використання для великої рогатої худоби гормонів є формою прямого забруднення, яке, як і інші забруднювачі, виводиться через молоко. Однак Європейський Союз заборонив використання гормонів через Директиву 96/22/ЄС, а застосування регулюється Директивою 96/23/ЄС.

Преднізолон у поєднанні з амоксициліном і клавулановою кислотою використовується для лікування маститу вимені корів, таким чином цей забруднювач потрапляє в молоко. 17 β -естрадіол і прогестерон, які найбільше присутні в коров'ячому молоці, є статевими гормонами, які широко використовуються для індукції лактації, покращення фертильності та синхронізації естрального циклу. Гормонами, найменше знайденими в молоці,

були тестостерон, соматостатин і кортизон. Наявність естрогенів у коров'ячому молоці пов'язують із цілим рядом захворювань. Наприклад, патологічні стани шлунково-кишкового тракту, акне та репродуктивні розлади у чоловіків.

Акне, вугор – невеликий запалений вузлик на шкірі, часто надалі нагноюється, перетворюючись на гноячок. Є хронічною хворобою із запаленням сальних залоз. Це хронічне захворювання шкіри зустрічається найчастіше в період настання статевої зрілості.

Лактопродукт піддається різним технологічним обробкам, це дає можливість зробити його безпечним для вживання та збільшити тривалість зберігання. Технологічна обробка молока включає ряд процесів. Основні технологічні процеси: приймання → очищення → нормалізація → гомогенізація → теплова обробка → фасування → зберігання. Розглянемо деякі процеси.

Обробка молока паром. Обробка молока паром – це теплова обробка, під час якої молоко нагрівають насиченою водяною парою з метою знищення мікроорганізмів і підвищення безпечності продукту. Свіже молоко піддається високотемпературній обробці (приблизно 100°C) кілька секунд. Цей процес допомагає видалити бактерії та інші мікроорганізми, шкідливі для людини та можуть призвести до захворювань. Після обробки паром напій швидко охолоджується, внаслідок чого зберігаються харчові властивості.

Пастеризація – процедура відбувається при високій температурі (зазвичай близько 72°C) до хвилини часу. Завдяки цьому методу знищується більшість шкідливих бактерій та зберігається велика кількість корисних властивостей продукту. Пастеризоване молоко має найтривалішу придатність до споживання.

Топлене молоко піддається нагріванню на відкритому вогні або у спеціальних ємностях до високої температури, але не до кипіння. Завдяки цій процедурі знищуються бактерії та збільшується строк придатності. Напій має кремову консистенцію та особливий смак – саме це робить його популярним для використання у випічці.

Принципи та назва пастеризації походять від досліджень французького вченого Луї Пастера. Його інтерес до молока та інших харчових продуктів був

зумовлений їх гниттям, яке він пізніше приписав зростанню небажаних мікроорганізмів. У сирому молоці виявлено кілька патогенних мікроорганізмів: *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Microbacterium* і *Micrococcus*. Патогенні мікроорганізми в коров'ячому молоці пов'язують з такими інфекційними захворюваннями, як кампілобактеріоз, сальмонельоз, ієрсиніоз, лістеріоз, туберкульоз, бруцельоз, інтоксикація стафілококовим ентеротоксином, стрептококові інфекції та інфекція *Escherichia coli*.

Лише наприкінці 1880-х років термічну обробку почали використовувати для комерційного виробництва молока. Це запроваджено з основною метою інактивації *Mycobacterium tuberculosis*, збудника туберкульозу у людей, пов'язаного зі споживанням сирого молока. Таким чином, після Другої світової війни пастеризація стала процесом, який широко використовувався в розвинених країнах. Однак є докази того, що не всі патогенні мікроорганізми можна знищити під час пастеризації, стійкими є *Staphylococcus aureus*, мікрококи, *Streptococcus spp* та *Bacillus*. Що ставить під сумнів ефективність цього процесу.

Управління з контролю за якістю харчових продуктів і медикаментів США (FDA) встановлює максимальну кількість бактерій у сирому коров'ячому молоці 100 000 КУО мл⁻¹ і 20 000 КУО мл⁻¹ для пастеризованого молока.

Пастеризація – це технологія, яка класифікується на основі робочих температур і часу витримки. При низькотемпературній довготривалій пастеризації використовується мінімальна температура 62,8°C і мінімальний час 30 хвилин. Високотемпературна короткочасна пастеризація використовує мінімальну температуру 71,1°C, мінімальний час 15 секунд, а надвисокотемпературна пастеризація працює при мінімумі 137°C і протягом мінімального часу (кілька секунд). Пастеризоване молоко в умовах надвисокотемпературної пастеризації може зберігатися кілька місяців без охолодження. Тоді як термін придатності пастеризованого молока коливається від 10 до 20 днів при зберіганні в холодильнику при температурі нижче 6,1°C.

Було показано, що застосування пастеризації денатурує білки з бактеріостатичною здатністю, як у випадку лактоферину. Це глікопротеїн, який

зв'язує залізо, і було доведено, що його повна денатурація втрачає інгібіторну здатність *Escherichia coli* в умовах надвисокотемпературної пастеризації. З цієї причини пропонується застосовувати термічну обробку при температурі нижче 75°C, щоб уникнути денатурації білків з бактеріостатичною здатністю та в той же час викликати інактивацію патогенних мікроорганізмів.

З іншого боку, процес високотемпературної короткочасної пастеризації руйнує до 20% вітамінів (В₁, В₆, В₁₂ і С), присутніх у молоці. Ці докази показують, що, хоча пастеризація та надвисокотемпературна пастеризація широко використовуються для знищення патогенних мікроорганізмів, вони не зовсім ефективні для цієї мети. Спостерігаються навіть втрати мінералізації молока, змінюється його поживний склад.

Наявність мікробних контамінантів у різних зразках пастеризованого молока показує, що хоча пастеризація спрямована на знищення мікроорганізмів, присутніх у молоці, вона не є повністю ефективною. Крім того, з появою інших забруднень якість молока вже не залежить лише від наявності мікроорганізмів. Тому необхідно вивчити інші методи дезактивації для забезпечення безпеки та здоров'я споживачів.

Міжнародні правила вимагають максимальних обмежень для мікробних і хімічних забруднень для забезпечення якості питного молока. Пастеризація – це технологія, яка широко використовується в молочній промисловості. Однак вона призначена виключно для усунення мікробних забруднень. У літературі згадуються альтернативи усунення конкретних мікробних і хімічних забруднень.

1.3. Процес первинної обробки молока

За тривалого зберігання свіжовидосного молока воно втрачає свої корисні властивості, через це його потрібно терміново піддавати первинній обробці. Свіже молоко має температуру приблизно 35–37 °С, а його бактерицидні властивості, які гальмують розвиток у молоці мікроорганізмів зберігаються

протягом 2,5–3 годин. Цей період, коли в молоці не розвиваються мікроорганізми, називається *бактерицидною фазою*.

Тривалість бактерицидної фази залежить від таких основних факторів:

- санітарні умови одержання молока;
- швидкість його очищення і охолодження та температура, до якої його охолоджують.

Для того щоб одержати високоякісне молоко, потрібно продовжити бактерицидну фазу, для цього молоко після видоювання очищають і охолоджують до температури 4–7°C.

Первинна обробка молока – це комплекс операцій, які виконують із свіжим молоком з метою збереження його якості. Первинна обробка включає наступні технологічні операції:

- очищення;
- охолодження (з метою уповільнення розвитку хвороботворних та окислювальних бактерій);
- пастеризація або сепарація молока.

Весь технологічний процес первинної обробки молока може бути реалізований за допомогою очисника молока ОМ–1А (рис. 2).

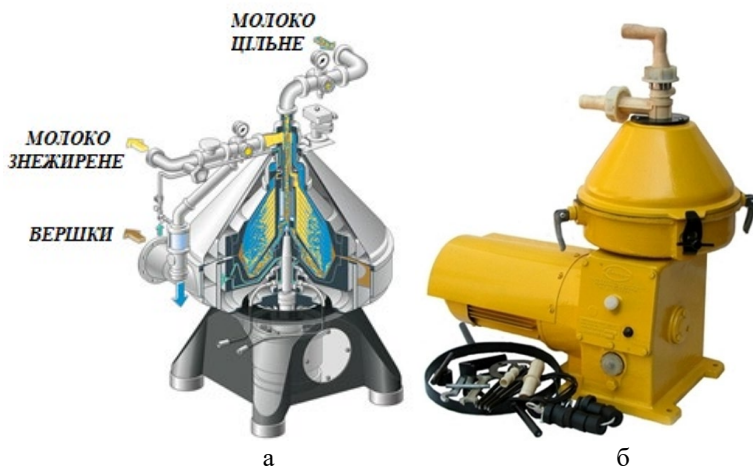


Рис.2. Сепаратор ОМ-1А: а) схема сепаратора; б) загальний вигляд [5]

Танк-охолодник молока «Kryos» фірми GEA WestfaliaSurge (Німеччина)

призначений для збирання, охолодження та зберігання охолодженого молока на великих молочних фермах та молокопереробних підприємствах. Танк-охолодник складається з місткості для молока, двох холодильних агрегатів, промивального автомата та електронного блока керування.

Місткість для молока має форму горизонтального циліндра (в деяких випадках при великих об'ємах має еліптичну форму). У передній верхній частині місткості розташована заливна горловина, яка щільно зачиняється відкидною накривкою. У нижній частині місткості для молока розташована зливна труба, обладнана дисковим клапаном.



Рис. 3. Танк-охолодник молока «Kryos» [6]

Зверху ззовні змонтовані 1–3 мотор-редуктори (кількість залежить від об'єму танка-охолоджувача). Всередині розташовані мішалки для періодичного перемішування молока в процесі охолодження і зберігання, та розбризкувальні насадки для мийних розчинів. У подвійному днищі циліндра розташовані випаровувачі. На передньому торці місткості розташовані: пристрої автоматичної промивки; кран для зливання рідини; блок керування. На іншому торці місткості розташована терморегулювальна апаратура, яка з'єднана з

випаровувачами і холодильними агрегатами. Керує роботою танка-охолодника електронний блок, який дає змогу контролювати роботу, керувати процесом та дозволяє провести діагностику роботи.

Таблиця 1 – Технічна характеристика Танка-охолодника молока «Kryos»

Показник	Значення
Місткість, л	885-10000
Кількість компресорів, шт.	1 – 2
Встановлена потужність, кВт	16
Маса, кг	323 – 1650

Пастеризація та ультрапастеризація це теплові процеси, які призначені для знищення бактерій в молоці, які можуть бути шкідливими та здатні призвести до псування молокопродуктів. Молоко з ферм доставляють на молокопереробні заводи, де його протягом кількох днів після доїння піддають тепловій обробці для запобігання псуванню та подовження терміну зберігання.

1.4. Основні технології пастеризації молока

Існує кілька основних технологій пастеризації молока, які використовуються в сучасних виробництвах:

1. Класична пастеризація: молоко підігрівається до температури близько 63–72°C і утримується протягом 30 хвилин. Цей метод знищує більшість шкідливих мікроорганізмів, зберігаючи при цьому більшість корисних компонентів молока.
2. Високотемпературна коротка пастеризація: молоко протікає через теплообмінник, де воно підігрівається до 72–75°C протягом 15–20 с. Цей метод ефективно знищує мікроорганізми, зберігаючи при цьому більшість корисних властивостей молока.
3. Ультрапастеризація: молоко підігрівається до високої температури від 135°C до 150°C протягом декількох секунд (мінімум 2 с), після чого швидко

оохолджується. Цей метод дозволяє зберегти молоко відносно довго без рефрижерації.

Ультрависокотемпературна обробка здійснюється на комплексних виробничих підприємствах, які автоматично та послідовно здійснюють декілька етапів обробки та пакування харчових продуктів:

- нагрів;
- оохолдження;
- гомогенізація;
- асептична упаковка.

На етапі нагрівання оброблена рідина спочатку попередньо нагрівається до некритичної температури (70–80°C для молока), а потім швидко нагрівається до температури, необхідної для процесу.

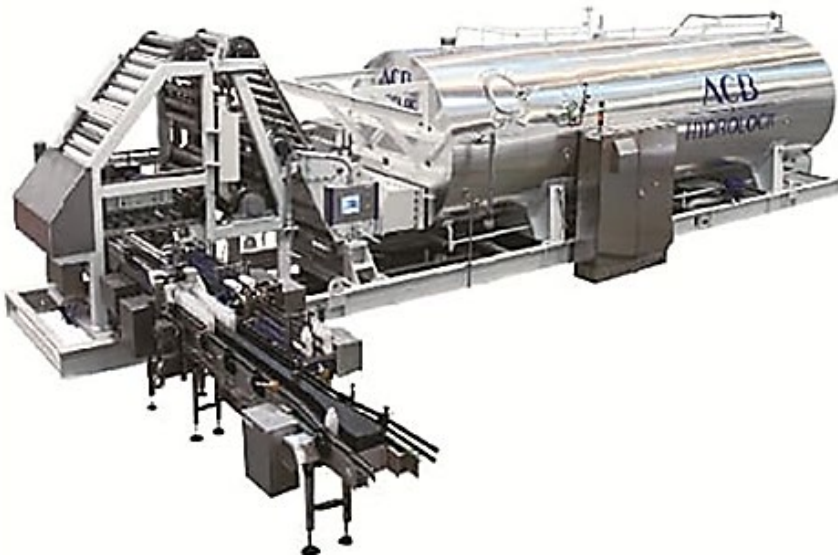


Рис. 4. Стерилізатор безперервної дії для молочних напоїв [7]

Існує два типи технологій нагрівання: **прямий**, коли продукт контактує з гарячою парою, і **непрямий**, коли продукт і теплоносії залишаються

розділеними контактними поверхнями обладнання. Основні цілі конструкції, як з точки зору якості продукту, так і з точки зору ефективності, полягають у підтримці високої температури продукту протягом найкоротшого періоду часу та забезпеченні рівномірного розподілу температури по всьому об'єму.

Системи прямого нагріву. Прямі системи мають перевагу в тому, що продукт утримується при високій температурі протягом коротшого періоду часу, тим самим зменшуючи термічне пошкодження чутливих продуктів, таких як молоко. Існує дві групи прямих систем:

- інжекційний, коли пара під високим тиском впорскується в рідину. Він дозволяє швидко нагрівати та охолоджувати, але підходить лише для деяких продуктів; оскільки продукт контактує з гарячою насадкою, існує ймовірність локального перегріву;

- на основі інфузії рідина закачується через сопло в камеру з паром високого тиску з відносно низькою концентрацією, що забезпечує велику площу контакту з поверхнею; цей метод забезпечує майже миттєве нагрівання та охолодження та рівномірний розподіл температури, уникаючи локального перегріву.

Системи непрямого нагріву. У непрямих системах продукт нагрівається теплообмінником, подібним до тих, що використовуються для пастеризації. Однак, оскільки застосовуються більш високі температури, необхідно використовувати більш високий тиск, щоб запобігти кипінню. Використовуються три типи обмінників:

- пластинчасті обмінники;
- трубчасті теплообмінники;
- теплообмінники зі скребковою поверхнею.

Для підвищення ефективності вода під тиском або пара використовуються як середовище для нагріву самих теплообмінників, що супроводжується блоком регенерації, це дозволяє повторно використовувати середовище та заощаджувати енергію.

Охолодження. Після нагрівання гарячий продукт передається в трубку для зберігання, а потім у вакуумну камеру, де він раптово втрачає температуру та випаровується. Процес, який називають *швидким охолодженням*, зменшує ризик термічного пошкодження, дезактивує термофільні мікроби внаслідок різкого зниження температури, видаляє частину або всю надлишкову воду, отриману в результаті контакту з паром, і видаляє деякі леткі сполуки, які негативно впливають на якість продукції. Швидкість охолодження та кількість видаленої води визначаються рівнем вакууму, який необхідно ретельно відкалібрувати.

Гомогенізація. Гомогенізація є частиною технологічного процесу переробки молока. Гомогенізація – це механічна обробка, яка призводить до зменшення розміру та збільшення кількості та загальної площі поверхні жирових кульок у молоці.

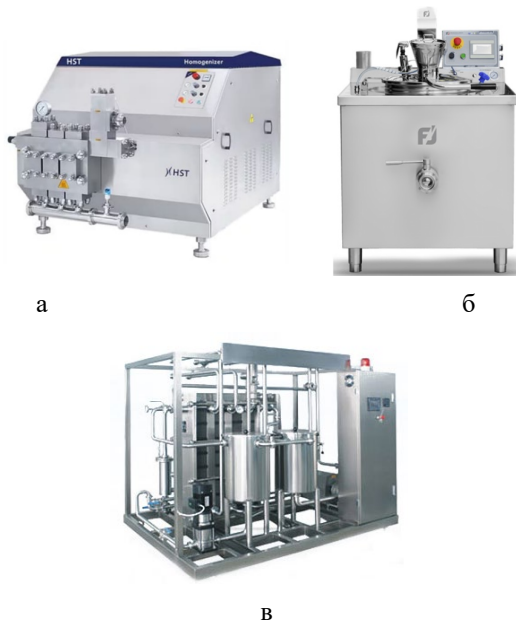


Рис. 5. Обладнання для переробки молока: а) гомогенізатор високого тиску для переробки молока; б) машина для пастеризації молока; в) пластинчастий пастеризатор [8]

Пластинчастий пастеризатор може нагріти молоко до 135–140°C протягом 3–5 с. Він може знищити бактерії за дуже короткий час і зберегти більшу частину поживних речовин. Це стосується молока, соку, чаю та іншої рідини без великої кількості клітковини або високої в'язкості. Пластинчастий пастеризатор має високу швидкість рекуперації тепла, енергоефективність, компактну конструкцію, просте управління, легке обслуговування. Основними компонентами є насос для матеріалу, ківш балансу, система гарячої води, пристрій контролю та запису температури, електрична система керування. Він має повністю автоматичний тип управління, оснащений контролером PLC, сенсорним дисплеєм. Це зменшує схильність молока до утворення вершків на поверхні, підвищує його стабільність і робить продукт більш приємним для споживачів.



Рис. 6. Промисловий пастеризатор для виробництва молочних продуктів і напоїв [9]

Пастеризатор Endulus Krom призначений для ефективної та надійної пастеризації рідких продуктів.

Endülüs Krom (Туреччина), спеціалізується на виробництві резервуарів з нержавіючої сталі та обладнання для харчових продуктів (з урахуванням різних специфікацій).

Ця система використовує поєднання тепла та охолодження для ефективного знищення патогенних мікроорганізмів, тим самим зменшуючи псування та подовжуючи термін придатності продукту. Пастеризатор підходить для різних застосувань, включаючи молоко, фруктовий сік, суміш для морозива, цукровий сироп, вершки та ферментовані напої, що гарантує, що кожен продукт обробляється з правильною температурою та оптимальною площею теплообміну. Пастеризатор доступний у різних розмірах із продуктивністю від 500 до 30 000 літрів на годину, що відповідає потребам різних промислових підприємств. Розроблені пастеризатори обладнані зрозумілим керуванням і самодіагностикою, вони прості в експлуатації та обслуговуванні. Важливою є мінімізація споживання енергії, дотримання найвищих стандартів безпеки харчових продуктів. У пастеризаторах використовуються пластинчасті системи пастеризації та стерилізації, що гарантує безпечне використання різноманітних груп рідких харчових продуктів.

Переваги:

- зменшує псування і продовжує термін зберігання;
- забезпечує безпеку продукту, знищуючи патогенні мікроорганізми;
- універсальне застосування для різних рідких харчових продуктів;
- зручне для користувача і зрозуміле керуванням і самодіагностика;
- енергоефективний (з діапазоном продуктивності 500–30 000 л/год).

1.5. Лінія для переробки молока UHT (Ultra High Temperature)

Лінія для переробки молока UHT (Ultra High Temperature) зазвичай включає наступні етапи:

- прийом сирого молока: сире молоко приймається та перевіряється на якість та безпечність;

- попередня обробка: молоко попередньо нагрівають для видалення будь-яких домішок і стандартизації вмісту жиру;
- гомогенізація: молоко пропускається через гомогенізатор для розщеплення жирових кульок і створення однорідної текстури.

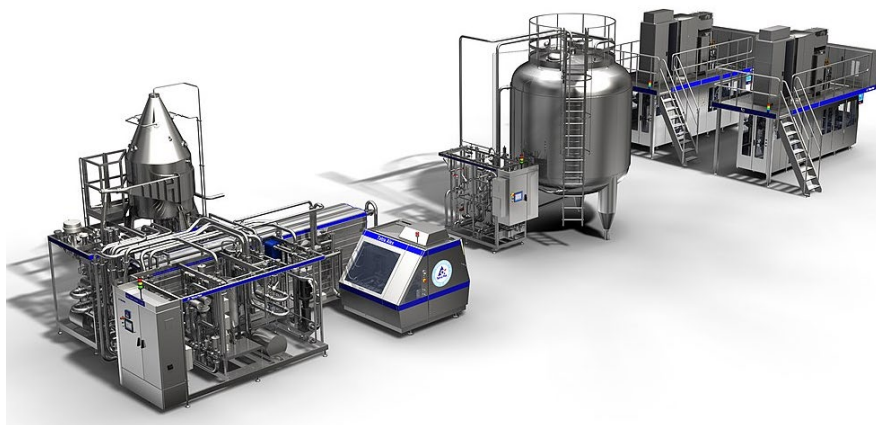


Рис. 7. Лінія ультрапастеризації Tetra Pak (Швеція) [10]

- термічна обробка: молоко нагрівається до дуже високої температури (зазвичай за допомогою методів непрямого нагрівання, таких як пластинчасті теплообмінники) протягом дуже короткого часу, щоб знищити будь-які шкідливі бактерії та подовжити термін зберігання;
- охолодження: молоко швидко охолоджується після термічної обробки, щоб досягти оптимальної температури;
- асептичне пакування: молоко упаковується в асептичні контейнери, такі як коробки або пляшки, щоб зберегти його стерильність і подовжити термін зберігання;
- контроль якості: фасоване молоко перевіряється на якість, безпеку та стабільність при зберіганні перед тим, як його реалізують.

УНТ-лінії для переробки молока, як правило, високоавтоматизовані та потребують передових технологій і досвіду для забезпечення якості та безпеки кінцевого продукту. Вони зазвичай використовуються на великих підприємствах

з переробки молока. УНТ процес молока: резервуар для транспортування молока, молочний фільтр і збірний резервуар; резервуар для охолодження та зберігання (бак для охолодження молока), змішування та стандартизація молока, поділ вершків, гомогенізація, дегазація та наповнення УНТ стерилізатора (трубчастого або пластинчастого типу). У виробничій лінії УНТ (ультрависокотемпературного миттєвого приготування) сировина та продукти є початковою та кінцевою точками всього виробничого процесу, включаючи:

Сировина. Свіже молоко: високоякісне свіже молоко є основною сировиною для виробництва УНТ молока. Для такої обробки придатне молоко без залишків антибіотиків і з низькою кількістю бактерій. Постачальники зазвичай ретельно перевіряють виробників молока, щоб гарантувати якість і безпеку джерел молока.

Проміжні продукти (обробка). Попередньо оброблене молоко: сире молоко спочатку фільтрується та очищається для видалення домішок, а потім частка жиру та сухого знежиреного молока регулюється шляхом стандартизації, щоб відповідати конкретним специфікаціям продукту. Пастеризоване молоко: перед УНТ обробкою молоко зазвичай пастеризують для усунення більшості шкідливих мікроорганізмів і підготовки до УНТ обробки. Але цей етап може бути пропущений у деяких процесах УНТ.

Продукт. Стерилізоване молоко УНТ: молоко, оброблене УНТ, нагрівається до 135°C–150°C протягом дуже короткого періоду часу (зазвичай кілька секунд), а потім швидко охолоджується. Цей метод може ефективно знищити всі мікроорганізми без необхідності використання консервантів, зберігаючи природний смак і поживну цінність молока. УНТ-молоко може зберігатися при кімнатній температурі кілька місяців і не псуватись. Молочні продукти УНТ: крім чистого молока, виробнича лінія також може виробляти різноманітні молочні продукти УНТ, такі як шоколадне молоко, полуничне молоко тощо, додаючи наповнювачі та цукор після стерилізації. УНТ сухе молоко: частина молока, обробленого УНТ, буде далі перероблено в

сухе молоко, яке пройде через такі процеси, як концентрація, розпилювальне сушіння тощо, щоб полегшити зберігання та транспортування.

Продукція, вироблена на лініях УНТ-переробки молока, широко використовується в домашньому господарстві, закладах громадського харчування завдяки своїй зручності, тривалому терміну зберігання та відсутності потреби в охолодженні.

Особливості та переваги:

1. Ефективне виробництво: потужність обробки може коливатися від 2 тон/день до 1000 тон/день. Лінія переробки молока УНТ використовує передові виробничі процеси та обладнання, які можуть досягти великомасштабного виробництва за короткий період часу. Вона має високоавтоматизовані функції, контролюється вся виробнича лінія, заощаджуючи робочу силу та полегшуючи управління виробництвом.

2. Тривале зберігання: УНТ молоко зберігається за допомогою ультрависокої температури, тому його можна зберігати протягом тривалого часу при кімнатній температурі без необхідності охолодження. Це робить ультрапастеризоване молоко дуже зручним і економічним вибором, особливо для приміщень без умов зберігання молочних продуктів.

3. Висока якість продукції: високі вимоги до проектування, виробництва та інженерного монтажу забезпечують першокласну якість готової продукції на лініях переробки молока. В молоці під час УНТ високотемпературної обробки ефективно знищуються бактерії та мікроорганізми, тим самим пролонгується термін придатності продукту. Це означає, що споживачі можуть насолоджуватися свіжою, гігієнічною та високоякісною молочною продукцією.

4. Міжнародна сертифікація: УНТ-лінії для переробки молока зазвичай відповідають міжнародним стандартам безпеки та якості харчових продуктів, таким як сертифікація ISO 9001 та НАССР. Ці сертифікати можуть підвищити довіру споживачів до продуктів і зробити їх більш конкурентоспроможними на внутрішньому та міжнародному ринках.

5. Різноманітні продукти: УНТ-лінія обробки молока може виробляти різні молочні продукти з різними смаками та добавками, наприклад шоколадне молоко, полуничне молоко та збагачене вітамінами молоко. Цей різноманітний вибір може задовольнити потреби та смакові переваги різних споживачів.

6. Екологічна стійкість: УНТ-лінія обробки молока зменшує споживання енергії та скидання стічних вод під час виробничого процесу. Повністю автоматичне очищення вихідної сировини гарантує, що все обладнання виробничої лінії відповідає вимогам гігієни та безпеки харчових продуктів. Лінія переробки молока УНТ є більш екологічною та стійкою, що відповідає вимогам сучасного суспільства щодо сталого розвитку та захисту навколишнього середовища.

1.6. Біохімічні та фізичні методи видалення забруднень у коров'ячому молоці

Широкого використання набув "надкритичний" діоксид вуглецю як екстрагент, який при температурі та тиску вище своєї критичної точки має високу здатність розчиняти органічні речовини та переводити їх з твердої фази у "надкритичний газ". Надкритичний діоксид вуглецю використовувався як інактивуючий агент для *кишкової палички*, так найбільше зниження вмісту мікроорганізмів спостерігалось протягом часу перебування 20 хвилин, досягаючи майже повної інактивації через 70 хвилин. Було досягнуто повної інактивації коліформ, плісняви та дріжджів, тоді як за допомогою вуглекислого газу під високим тиском було досягнуто максимального зменшення кількості аеробних бактерій на 4,96 log. Використання тонкоплівкового УФ-С (ультрафіолетового С) реактора з елементами, що направляють потік, дозволило зменшити *E. coli* та *L. innocua* на 4,58 log та 3,19 log відповідно. Було використано реактор UV-C для інактивації аеробних бактерій, досягнувши зниження на 4,60 log і 4,70 log при потужності 48 Вт і 39 Вт відповідно. Потужність УФ-лампи не вплинула суттєво на концентрацію жиру в молоці, що означає, що необхідно вдосконалити метод, щоб гарантувати ефективне зменшення цих

мікроорганізмів, якщо час транспортування молока перевищує дві години без охолодження. Було підтверджено, що *L.monocytogenes* повністю інактивується в молоці озоном протягом 15 хвилин. Однак це вплинуло на харчові цінності. Вплив на молоко лазерного випромінювання не змінив фізико-хімічні властивості молока, але відсоток зниження був для *E.coli* – 30%, *Salmonella* sp – 25%, дріжджів – 47% і *Lactobacillus* sp – 30%. Комбінація ультразвуку з перекисом водню та активною системою лактопероксидази змогла гарантувати мікробну якість молока, оскільки вона змогла інактивувати *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus pentosus*, *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli* та *Pseudomonas fluorescens* через 10 хвилин при амплітуді 125 мкм. Застосування ультразвуку в поєднанні зі змінами температури, часу та постійного тиску (манотермозонування) досягло мінімального зниження до 1,6 log КУО/мл для *E. coli* та *P.fluorescens* і 1,05 log КУО/мл для *S. aureus*. Потрібні подальші дослідження для забезпечення ефективної інактивації за допомогою манотермозвуку. Застосування високого тиску (400–600 МПа) ефективно інактивувало (5 log КУО/мл) *E. coli*, *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *Enterobacteriaceae*, молочнокислі бактерії та *Pseudomonas* spp. Одним із найбільш широко використовуваних методів інактивації мікроорганізмів у коров'ячому молоці є імпульсні електричні поля. Цей метод був застосований для інактивації *E.coli* та *L. innocua*, досягнувши зниження на 2 log КУО/мл. Було виявлено, що поєднання цього методу з попереднім нагріванням при 50°C досягає зменшення кількості *Pseudomonas aeruginosa* на 5–6 log КУО/мл і загального зменшення кількості *E. coli*, *S. aureus* і *L. innocua*.

Методи біосорбції з використанням мікроорганізмів виявилися ефективними для видалення пестицидів, металів і мікотоксинів. Біосорбція за допомогою молочнокислих бактерій змогла видалити фосфорорганічні пестициди з коров'ячого молока, вона була більш ефективною для хлорпірифосу, фенітротіону та малатіону, константи деградації яких перевищували 0,018 год⁻¹. З іншого боку, діазинон і метилпаратіон виявилися більш стійкими при застосуванні різних штамів молочнокислих бактерій окремо та в комбінації.

Константи швидкості розпаду корелювали з вимірюванням активності фосфатази, і було виявлено, що чим нижча активність фосфатази, тим нижча константа розпаду. Той самий метод був застосований для цієї групи забруднюючих речовин, виявивши, що диметоат і метилпаратіон були найбільш стабільними з найнижчими константами швидкості розпаду (0,0165–0,0184 і 0,0213 год⁻¹), які є більш ефективними для видалення малатіону з вищими константами швидкості розпаду (0,0218–0,0420 год⁻¹). Нажаль, не зважаючи на те, що застосування молочнокислих бактерій є ефективним методом видалення діазінону, диметоату та метилпаратіону в коров'ячому молоці, воно не є селективним, оскільки не може усунути всі досліджувані органофосфати.

Біосорбція *Saccharomyces cerevisiae* дозволила видалити 70% металів свинцю, ртуті та кадмію. Відсоток видалення був вищим, коли використовували *Lactobacillus acidophilus*, видаляючи 80, 75 і 72% відповідно. Використання *Saccharomyces cerevisiae* і *Lactobacillus helveticus* видалило AFM1 з молока за допомогою ще невідомого механізму зв'язування. Комбінація пробіотичних бактерій із видами дріжджів змогла видалити 90,88% AFM1 протягом 72 годин. Цей відсоток видалення був вищим, ніж отриманий в іншому дослідженні (19–61%). Застосовуючи біоплівку *Lactobacillus rhamnosus*, було досягнуто видалення AFM1 на 60,74%. Незважаючи на це, метод не є життєздатною альтернативою для застосування, оскільки спостерігалось зниження відсотка жиру та загальної сухої речовини.

Методи біосорбції з використанням мікроорганізмів (*Lactobacillus acidophilus* і *Saccharomyces cerevisiae*) ефективні для видалення важких металів з коров'ячого молока (свинцю, ртуті, міді, кадмію). Однак вони потребують мінімального періоду бродіння 4 дні. При використанні молочнокислих бактерій для розкладання фосфорорганічних пестицидів необхідний мінімальний період ферментації 24 години. Ці терміни призведуть до економічних втрат для промисловості, а враховуючи існуючий світовий попит на молоко, буде майже неможливо застосувати їх у великих масштабах.

Адсорбційні методи виявилися ефективними для видалення металів, антибіотиків і мікотоксинів. Шляхом адсорбції гіdroгелями діакрилату Pluronic P123 (P123-DA) видалено близько 85,3% і 81,9% іонів Pb^{2+} і Hg^{2+} відповідно. Смоли були ще одним адсорбентом, який використовується для адсорбції важких металів у коров'ячому молоці. Смола IMAC HP була описана для видалення іонів міді (76,89%). Тетрациклін, окситетрациклін, хлортетрациклін і доксициклін були видалені шляхом адсорбції на полімері з молекулярним відбитком, досягнувши 81,83, 95,47, 96,44 і 93,25% відповідно. Фотокаталітично-флуоресцентний полімер, виготовлений з оксиду графену та фосфату вісмуту з молекулярно-магнітним відбитком, дозволив повністю розкласти ципрофлоксацин. Розроблено полімер із молекулярним відбитком, нанесений на поверхню пластини з нержавіючої сталі як адсорбуючий матеріал для дезактивації AFM1 у коров'ячому молоці. Цей метод дозволив видалити від 87,3 до 96,2% AFM1, не викликаючи зміни фізико-хімічних властивостей молока. Адсорбція каоліном і природною кальцієвою бентонітовою глиною для адсорбції дозволила видалити AFM1 на 86,1–93,3% і 93,7–97,7% відповідно. Було помічено, що харчові властивості молока не змінюються. Незважаючи на це, було проведено небагато досліджень коров'ячого молока. Тому їх недостатньо для розгляду його застосування на промисловому рівні.

Для видалення пестицидів і антибіотиків також застосовувалися інші методи, про які менше повідомлялося в літературі. Ультразвукова обробка виявилася ефективною для деградації 97,10% метилпаратіону. Однак цей метод обмежений утворенням продуктів розпаду з токсичними ефектами. Для усунення антибіотиків у коров'ячому молоці застосовували такі методи, як озонування, з деградацією амоксициліну, доксицикліну, ципрофлоксацину та сульфадіазину приблизно на 95%. Також було описано електрохімічне окислення, застосоване для видалення малих концентрацій хлортетрацикліну, цефазоліну та окситетрацикліну. Гамма-випромінювання також виявилася ефективним для видалення амоксициліну, ципрофлоксацину та доксицикліну на 90% у зразках коров'ячого молока. Проте з усіх антибіотиків, виявлених у

коров'ячому молоці, вони були перевірені лише на елімінацію амоксициліну, доксицикліну, ципрофлоксацину, сульфадіазину, хлортетрацикліну, цефазоліну та тетрацикліну. Необхідні додаткові дослідження, щоб перевірити застосування цих методів для дезактивації коров'ячого молока.

Альтернативні методи, вивчені на сьогоднішній день, застосовуються в промислових масштабах, і багато з них змінюють поживні властивості молока. Той факт, що більшість із цих хімічних забруднень не регулюється стандартами, не зобов'язує молочну промисловість використовувати альтернативні пастеризації методи. Крім того, економічно не вигідно використовувати різні технології для усунення кожного забруднювача, присутнього в молоці. Однак, щоб гарантувати безпеку молока, важливо вивчити процеси, які доповнюють пастеризацію та можуть усунути патогенні мікроорганізми та хімічні забруднення.

Наявність забруднюючих речовин у сирому коров'ячому молоці (багато з них заборонені) є ознакою того, що в даний час вони незаконно використовуються як у сільському господарстві, так і в тваринництві. Наявність залишків забруднюючих речовин у молоці становить ризик для здоров'я споживачів, для окремих з них до сих пір не встановлено ГДК. Крім того, процеси пастеризації неефективні для деградації або усунення різних забруднюючих речовин.

Незважаючи на те, що в літературі описані альтернативні методи видалення різних забруднюючих речовин у молоці, вони все ще недостатні та не застосовуються в промислових масштабах. Замість цього вони застосовувалися індивідуально або в дуже невеликих групах забруднюючих речовин. Немає доказів чи результатів щодо взаємодії між ними або з проміжними продуктами, що утворюються в коров'ячому молоці, а також щодо змін органолептичних властивостей. Проте альтернативні методи довели свою ефективність у руйнуванні деяких забруднень, присутніх у молоці. На основі цієї гіпотези пропонується поглибити застосування цих методів, включаючи вивчення взаємодій між різними родинами забруднень, застосування нових матеріалів або

модифікацію існуючих і дослідження токсичності або зміни органолептичних властивостей. У цьому сенсі галузь нанобіотехнологій, нановолокон, наномембран, біовугілля, MOF (метал-органічний каркас), серед іншого, може відігравати відповідну роль, гарантуючи безпеку споживаного молока, а отже, кращу якість життя для споживачів.

Питання для самоконтролю

1. Які особливості має коров'яче молоко?
2. Які поживні властивості має ослине молоко?
3. Які особливості має оленяче молоко?
4. В чому полягає особливість верблюдячого молока?
5. Які поживні компоненти присутні в козячому молоці?
6. В чому полягає біологічна цінність кобилячого молока?
7. Який напій, виготовлений з кобилячого молока користується широкою популярністю?
8. Який продукт, виготовлений з овечого молока поширений в Україні?
9. До якого типу відноситься буйволине молоко?
10. У ході яких процесів відбувається забруднення коров'ячого молока?
11. Які види забруднень коров'ячого молока є типовими?
12. Які забруднювачі навколишнього середовища, що споживаються великою рогатою худобою, є найпоширенішими?
13. В чому полягають причини мікробного забруднення сирого молока?
14. Яку роль відіграють пестициди у сирому коров'ячому молоці?
15. Які важкі метали спричиняють забруднення коров'ячого молока?
16. Як антибіотики впливають на забруднення молока?
17. Що таке мікотоксини і яким чином вони здатні забруднити коров'яче молоко?
18. З якою метою пастеризують коров'яче молоко?
19. З якою метою застосовують методи біосорбції у молочному виробництві?

20. У чому полягає ефективність адсорбційних методів і з якою метою їх застосовують у молочному виробництві?

Рекомендована навчальна література

1. Грек О.В., Красуля О.О. Молокопереробка. Інновації : підручник. Київ : НУХТ, 2017. 390 с.
2. Іванов С.В., Грек О.В., Осьмак Т.Г. Молокопереробка. Промисловий інжиніринг : підручник. Київ : НУХТ, 2017. 275 с.
3. Власенко В.В., Головка М.П., Семко Т.В., Головка Т.М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
4. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
5. Скорченко Т.А., Грек О.В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
6. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологічні розрахунки у молочній промисловості : навч. посібник. Київ : НУХТ, 2013. 343 с.
7. Теличкун В.І., Гавва О.М., Теличкун Ю.С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
8. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. Київ : НУХТ, 2013. 502 с.
9. Цехмістренко С.І., Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.
10. Перцевий Ф.В., Терешкін О.Г., Гурський П.В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. Київ : Інкос, 2014. 340 с.

Розділ 2. ІННОВАЦІЙНІ ДОСЯГНЕННЯ В ПЕРЕРОБЦІ МОЛОКА

2.1. *Напрямки інновацій у молочному виробництві*

У сучасній молочній промисловості інновації мають вирішальне значення для задоволення зростаючих потреб споживачів, забезпечення якості продукції та стимулювання сталого розвитку.

Напрямок інновацій у переробці молока зміщується в бік стійкості, зв'язку та цифровізації.

Цифровізація – це насичення фізичного світу електронно-цифровими пристроями, засобами, системами та налагодження електронно-комунікаційного обміну між ними. Це уможливорює інтегральну взаємодію віртуального та фізичного, тобто створює кіберфізичний простір.

Тут екологічність має першочергове значення, тому потрібні рішення, які оптимізують використання ресурсів і зменшують вплив на навколишнє середовище. Підключення та цифровізація відіграють вирішальну роль у досягненні цих цілей, забезпечуючи моніторинг у реальному часі, прогнозне обслуговування та оптимізацію на основі штучного інтелекту. Рухаючись вперед, інновації продовжуватимуть зосереджуватись на підвищенні ефективності, економії ресурсів і задоволенні мінливих уподобань споживачів, що в кінцевому підсумку приведе молочну промисловість до більш сталого та прибуткового майбутнього.

Advanced-Data Analytics для точного прийняття рішень. У ланцюзі постачання молочних продуктів, що постійно розвивається, розширена аналітика даних стала ключовим інструментом для прийняття точних рішень. Використовуючи великі дані, молочні корпорації можуть використовувати прогнозне моделювання для оптимізації ключових процесів, таких як виробництво сирого молока, розподіл і управління запасами. Ця складна аналітика не просто обробляє цифри, але виявляє складні закономірності в даних. Ця здатність розпізнавати закономірності дозволяє здійснювати цілеспрямовані втручання, зменшуючи відходи та значно покращуючи загальну ефективність.

Наприклад, аналізуючи історичні дані про споживачів, переваги та обсяги виробництва, молочні компанії можуть налаштувати свою діяльність відповідно до конкретних потреб ринку, мінімізуючи надлишок виробництва та зменшуючи непотрібні витрати.

Сенсорна технологія для моніторингу якості. Сенсорна технологія, яка перевершує можливості IoT, революціонізує молочну промисловість завдяки моніторингу якості в реальному часі.

Інтернет речей – Internet of Things, IoT – концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані давачі, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами в автоматичному режимі, за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку. Окрім давачів, мережа може мати виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об'єкти і пов'язані між собою через дротові чи бездротові мережі. Ці взаємопов'язані пристрої мають можливість зчитування та приведення в дію, функцію програмування та ідентифікації, а також дозволяють виключити необхідність участі людини, за рахунок використання інтелектуальних інтерфейсів.

Стратегічно розміщені вдосконалені датчики в ключових точках ланцюга постачання дозволяють відстежувати найважливіші параметри, включаючи температуру, кислотність і мікробний вміст. Такий рівень точності моніторингу гарантує незмінну якість сирого молока від ферми до переробного підприємства. Завдяки постійній оцінці цих критичних факторів ризик псування або забруднення значно знижується, що гарантує відповідність кінцевого продукту найвищим стандартам якості. Наприклад, датчики можуть миттєво виявляти відхилення температури під час транспортування, дозволяючи негайно вжити коригувальні дії для збереження цілісності сирого молока.

Штучний інтелект у прогнозуванні попиту. Штучний інтелект (AI) стає наріжним каменем у прогнозуванні споживчого попиту в молочній промисловості.

Штучний інтелект (ШІ) – розділ комп'ютерної лінгвістики та інформатики, який швидко розвивається, і зосереджений на розробці інтелектуальних машин, здатних виконувати завдання, які зазвичай потребують людського інтелекту.

Завдяки аналізу великих наборів даних і ідентифікації складних закономірностей алгоритми штучного інтелекту чудово забезпечують надзвичайно точні прогнози попиту. Цей технологічний прогрес дає професіоналам ланцюга постачання молочної продукції детальне розуміння ринкових тенденцій, дозволяючи їм оптимізувати графіки виробництва, точніше налаштовувати маршрути розподілу та ефективніше керувати рівнем запасів. Наприклад, штучний інтелект може швидко розпізнавати тонкі зміни в уподобаннях споживачів, дозволяючи молочним корпораціям завчасно коригувати свої стратегії відповідно до мінливих потреб ринку. Такий рівень розуміння забезпечує більш гнучкий і оперативний ланцюг поставок, що в кінцевому підсумку підвищує здатність галузі адаптуватися до динамічних ринкових умов.

Технології сталого землеробства. Прагнення молочної промисловості до сталого розвитку спонукає до впровадження спеціальних технологій, які сприяють екологічно свідомій діяльності. Точне землеробство є однією з таких інновацій, яка використовує технологію для оптимізації сільськогосподарських процесів, зменшення використання ресурсів і мінімізації впливу на навколишнє середовище. Крім того, промисловість все більше використовує відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергії, щоб задовольнити потреби в енергоресурсах на молочних фермах. Заходи зі зменшення відходів, що сприяють передовим технологіям, також є невід'ємною частиною створення більш відповідального ланцюга постачання сирого молока.

Інтеграція Dairy SaaS для безперебійної роботи. Інтеграція передового програмного забезпечення ланцюга поставок відіграє ключову роль у підвищенні операційної досконалості для молочних корпорацій. Ця злагоджена інтеграція охоплює різні етапи ланцюга постачання, від ферми до ринку, пропонуючи

комплексне рішення для оптимізації процесів. Організації можуть використовувати передові технології для забезпечення ефективного управління фермою, оптимізації логістики та впровадження суворих заходів контролю якості. Цей цілісний підхід до управління ланцюгом постачання молочної продукції покращує загальну операційну ефективність і сприяє створенню більш гнучкого та чутливого ланцюга постачання, що відповідає вимогам галузі, яка швидко розвивається.

Оперативна видимість у реальному часі з інтеграцією технологій.

Інтеграція передових технологій на різних етапах ланцюга постачання є важливою для забезпечення операційної видимості в реальному часі для молочних корпорацій. Ця технологічна перевага дозволяє підприємствам ретельно контролювати рух сирого молока на кожному етапі, від виробництва до розподілу. Видимість у режимі реального часу пропонує комплексне уявлення про весь ланцюжок поставок, сприяючи швидкому реагуванню на відхилення або проблеми, які можуть виникнути. Наприклад, підприємства можуть використовувати датчики та системи відстеження для моніторингу умов транспортування, гарантуючи, що сире молоко залишається в межах заданої температури та параметрів якості. Цей рівень видимості дозволяє оперативно втручатися в разі будь-яких аномалій, запобігаючи потенційним проблемам з якістю або затримкам у ланцюжку постачання. Загалом, оперативна видимість у режимі реального часу покращує гнучкість і оперативність ланцюжка поставок, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню операційної ефективності та задоволеності клієнтів.

Автоматизоване управління відповідністю для дотримання нормативних вимог. У контексті суворо регульованої молочної промисловості впровадження автоматизованих систем управління відповідністю має велике значення. Ці системи, розроблені для оптимізації дотримання стандартів якості та правил, відіграють вирішальну роль у забезпеченні того, щоб кожна партія сирого молока відповідала вимогам. Застосування автоматизованих підходів мінімізує ризик відкликання товарів за рахунок активного виявлення та

вирішення потенційних проблем відповідності. Наприклад, під час навігації в складних нормативних ландшафтах автоматизоване управління відповідністю дозволяє молочним корпораціям підтримувати послідовний стандарт у всьому ланцюжку постачання. Це не тільки зменшує ризик невідповідності нормативним вимогам, але й посилює загальне дотримання галузевих стандартів. Ефективність цих автоматизованих систем служить надійним запобіжником, зберігаючи репутацію молочних корпорацій і вселяючи довіру серед споживачів. У середовищі, де регулятивний контроль має першочергове значення, інтеграція ефективного управління відповідністю сприяє стійкості та довірі до ланцюжка постачання молочної продукції.

У сьогоденні молочна промисловість перебуває на порозі трансформаційної ери, яка стане свідком зміни динаміки ланцюга поставок. Від впровадження розширеної аналітики даних для прийняття точних рішень до впровадження технологій сталого ведення сільського господарства, галузь розвивається завдяки інноваціям, які підвищують ефективність і прозорість. У цьому ландшафті бездоганна інтеграція, відіграє ключову роль. Здатність об'єднувати різноманітні етапи ланцюжка поставок сприяє досконалості операцій і оперативності технологічного процесу. Це є свідченням прагнення галузі залишатися попереду в епоху, відзначену стійкістю, точністю та технологічним прогресом.

Протягом останніх двох десятиліть спостерігаються значні технологічні досягнення в промисловості переробки рідкого молока зі значним удосконаленням усіх операцій, таких як сепарація, стандартизація, пастеризація, гомогенізація та пакування. Крім того, багато досягнень було здобуто з точки зору виробничих потужностей, автоматизації та санітарної експлуатації. Традиційно молоко обробляється шляхом його нагрівання до певної температури протягом фіксованого періоду часу, що призводить до значного зменшення мікробної популяції.

Проте нещодавно розроблені методи нетермічної обробки ідеально підходять для молока та інших харчових продуктів з більш високим рівнем

усуненням мікроорганізмів або будь-яких інших біологічних об'єктів, не спричиняючи значного підвищення температури, тим самим запобігаючи ланцюгу небажаних реакцій у харчових продуктах. Обробка під високим тиском (HPP – High Pressure Processing), мікрофільтрація, центрифугування, імпульсне електричне поле (PEF – Pulsed Electric Field), ультрафіолетове світло (UV – Ultraviolet Light) і обробка холодною плазмою є одними з широко використовуваних нетермічних процесів. Крім того, були також розроблені автоматизовані технології для зменшення витрат на робочу силу та втрат під час обробки, включаючи автоматизовану систему очищення на місці (CIP – Cleaning in Place), теплообмінник зі скребковою поверхнею і похилою плівкою, автоматизовану розпилювальну сушарку, мембранну обробку (ультрафільтрацію, UF – Ultrafiltration), зворотний осмос (RO – Reverse Osmosis), мікрофільтрацію (MF – Microfiltration), нанофільтрацію (NF – Nanofiltration) і електродіаліз. Ультразвукова обробка є перспективною альтернативною технологією в харчовій промисловості, оскільки вона має потенціал для покращення технологічних та функціональних властивостей молока та молочних продуктів. Крім того, ультразвук високої інтенсивності (HIU – High Intensity Ultrasound) є багатообіцяючою новою технологією, спеціально розробленою для економії, простоти та енергоефективності. HIU має численні переваги в обробці або оцінці продуктів. Він також пропонує великий потенціал для контролю, покращення та прискорення процесів без шкоди для якості їжі та інших продуктів.

2.2. Обробка під високим тиском (HPP)

Це нетермічний метод консервування та стерилізації харчових і молочних продуктів, при якому вони піддаються надзвичайно високому тиску, внаслідок чого деякі мікроби та ферменти в їжі інактивуються. Дослідження сирого молока, обробленого під високим тиском, показали, що обробка HPP надає сирому молоку порівнянної якості з пастеризованим молоком, оскільки така

обробка однаково успішно знищує патогенні мікроорганізми та мікроорганізми, що викликають псування. У порівнянні з харчовими продуктами з вищим рН, такими як молоко, НРР виявилася ефективною в інактивації бактерій у харчових системах з високим і низьким вмістом кислоти. Це може вплинути на якість обробленого молока шляхом зміни основних властивостей молочних інгредієнтів.

Конкретна обробка згадується в літературних джерелах, як обробка під високим тиском (НРР), обробка під високим гідростатичним тиском (ННР) або обробка надвисоким тиском (УНРР). Її можна застосовувати в широкому асортименті харчових продуктів. Деякі розрізняють НРР і ННР, згадуючи, що ННР передбачає високу турбулентність, швидкість і зсувні сили, тоді як НРР використовує ізостатичний тиск. НРР базується на гідростатичному тиску, який збільшує вільну енергію і працює порціями. Система включає камеру тиску, систему підвищення тиску та температурну камеру (блок підтримки). Він використовується для герметичних продуктів (закритих систем), які переміщуються через ємність, що містить рідке середовище, як правило, воду, і досягає тиску від 100–1000 МПа. Процес триває максимум 30 хвилин, а температура в камері зазвичай підтримується нижче 40°C. Параметри, що визначають НРР: температура, тиск і час впливу.

Щоб комерціалізувати НРР у молочній промисловості, необхідною умовою є розуміння впливу на білки в одиночних і змішаних системах. Основною метою специфічного процесу була гомогенізація жирових кульок, але сьогодні доведено, що він може зменшити мікробну популяцію їжі, зберігаючи при цьому сенсорні характеристики. Крім того, змінюючи конформацію самої матриці, НРР порушує мембрани бактерій, що призводить до інактивації патогенів, залежно від типу мікроорганізмів. Після цього НРР може надати продукти з подовженим терміном зберігання та вищою якістю.

Тиск 600 МПа протягом 3 хвилин призвів до більш ніж 5-кратного зниження рівня *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* та *Salmonella spp.* у молоці. Крім того, його конкретне застосування зменшило

Enterobacteriaceae, молочнокислі бактерії та *Pseudomonas spp.* і продовжило мікробіологічний термін придатності молока на 7 днів порівняно з пастеризованим молоком. Незважаючи на те, що специфічний процес є ефективним для зменшення кількості мікроорганізмів, при окремому застосуванні він не впливає або має обмежений вплив на спори, тоді як в інших дослідженнях згадується, що існують способи досягнення інактивації спор, залежно від застосованої температури. Висока стійкість спор до тиску може бути пов'язана з кількома шарами та низькою водною активністю кори.

Вплив НРР на молекули з низькою молекулярною масою, такі як вітаміни та леткі сполуки, є мінімальним. Було показано, що НРР може бути придатним для певних ферментованих пробіотичних продуктів, а біодоступність кальцію в напоях на основі молока, оброблених НРР, була вищою, ніж у термічно оброблених зразках.

Іншими прикладами, що підтверджують сприятливі ефекти, є обробка людського донорського молока за допомогою НРР, що призводить до збереження адипокінів, фактору росту та вищих значень лактоферину, імуноглобуліну (IgG) порівняно з пастеризацією (62,5°C протягом 30 хвилин).

Адипокіни – гормони жирової тканини – є різновидом цитокінів (невеликих пептидних інформаційних молекул), що виділяються адипоцитами (клітинами жирової тканини).

Лактоферин – глікопротеїн (протизапальний білок) який синтезується нейтрофілами, мононуклеарними фагоцитами і епітеліальними клітинами всього організму.

Досліджено, що НРР може змінити алергію на харчові продукти, такі як β -лактоглобулін у коров'ячому молоці, шляхом підвищення антигенності.

β -лактоглобулін – один із найсильніших алергенів – білків коров'ячого молока. У грудному молоці відсутній. Руйнується за 20-хвилинного кип'ятіння.

І останнє, але не менш важливе: вважається, що спеціальний процес може покращити функціональність інгредієнтів у молоці, таких як білки, що призведе до кращого спінювання та оптимізації емульгуювальних властивостей.

Крім мікроорганізмів, НРР може інактивувати ферменти, і в результаті продукт може зберігати свій органолептичний профіль протягом терміну придатності. Наприклад, лужна фосфатаза інактивується при 800 МПа протягом 8 хвилин. НРР також здатний покращити коагуляцію і дозрівання сиру. Йогурт, оброблений НРР, продемонстрував менший синерезис, а морозиво тануло повільніше, ніж звичайні продукти.

Синерезис – явище самочинного зменшення розмірів гелю за рахунок виділення дисперсійного середовища, що втримується в структурі гелю. Синерезис обумовлений зростанням числа й міцності контактів між частками і супроводжується виникненням кристалізаційних містків між частками.

Завдяки більш м'якому впливу на компоненти продукту, НРР дозволяє збільшити термін придатності. Було показано, що він продовжує термін зберігання сирів і прискорює процес їх дозрівання, впливаючи на ферментативну активність і змінюючи міцели казеїну. Міцели казеїну, обробленого НРР молока, мали подібний розмір до сирого молока порівняно з пастеризованим молоком.

Міцелярний казеїн – білок з повільною швидкістю засвоєння.

Деякі автори зазначають, що немає впливу на первинну або вторинну структуру білків. Незважаючи на суперечливість, інші припускають, що в молоці руйнування залежить від тиску, який за високих сил може призвести до необоротної денатурації білків і руйнування міцел казеїну до їх первинної структури. Щодо α -лактальбуміну та коров'ячого сироваткового альбуміну, денатурація не спостерігалась у знежиреному молоці при тиску до 400 МПа.

Альфа-лактальбумін – одновимірний глобулярний кальцій-зв'язуючий білок, який становить 25% сироваткових протеїнів і близько 5% всіх білків молока.

Дослідження, проведене на сирах, отриманих зі свіжого пастеризованого коров'ячого молока, показали вищі значення модуля, вищі значення напруги та нижчі значення деформації порівняно з контролем, що вказує на більший опір деформації, нижчу здатність до руйнування та меншу деформативність

відповідно. У тому ж дослідженні застосування тиску 500 МПа призвело до збільшення жовтого кольору та зменшення світлості протягом 7 днів зберігання порівняно з контролем. Експерти виявили відмінності між контрольними сирами та сирами під тиском лише щодо твердості (сири НРР були твердішими), тоді як середня оцінка переваги для свіжих сирів і для терміну зберігання 22 дні була однаковою.

Колір пов'язаний з жировими кульками, і в спеціальному дослідженні було показано, що середній розмір жирових кульок був меншим у пастеризованому молоці, ніж у НРР та сирому молоці.

Обмеження НРР на промисловому рівні полягає у високій вартості та низькій потужності при тиску вище 100 МПа. Оскільки необхідні значні капіталовкладення, а пропускну здатність обмежена, це призводить до вищих витрат на виробництво порівняно з термічною обробкою. Отже, його можна використовувати в менших масштабах для високоцінних продуктів, а споживання енергії набагато нижче, ніж термічний процес, який потребує охолодження, згадують, що високі інвестиційні витрати були подолані шляхом збільшення розміру обладнання та місткості використовуваної ємності. З іншого боку, згадується, що вартість літра або кг становить 0,05–0,5 доларів США, що нижче, ніж термічна обробка. У харчовому та молочному секторі обробка під високим тиском є унікальною альтернативою термічній обробці, яка включає камеру обробки, систему створення тиску, середовище передачі тиску та підсилювач тиску. НРР проводили при 680 МПа протягом 10 хвилин при кімнатній температурі і кількість мікроорганізмів зменшилось на 5–6 логарифмічних циклів.

Технологія НРР повністю визнана глобальними регуляторними органами як антимікробний процес із значними можливостями для інактивації багатьох харчових патогенів, що викликають занепокоєння. Системи НРР Quintus створені для промислового використання, мають високу довговічність і продуктивність, а також менш вимогливі до обслуговування. Унікальні механічні та цифрові рішення, які використовуються в системах НРР Quintus,

забезпечують максимальний час безвідмовної роботи та продуктивність, мінімізуючи загальну вартість придбання і експлуатації інноваційного обладнання.



Рис. 8. Установа для обробки молочної продукції під тиском HPP QIF 150L [11]

Визнано, що нетермічний метод HPP інактивує патогенні мікроорганізми, що передаються харчовими продуктами, і забезпечує довший термін зберігання в холодильнику без впливу на смак або харчові властивості молочних продуктів, що може спостерігатись у випадку використання інших видів обробки харчових продуктів.

2.3. Імпульсні електричні поля (PEF)

Основним принципом технології PEF є використання коротких імпульсів сильних електричних полів тривалістю від мікросекунд до мілісекунд і інтенсивністю від 10 до 80 кВ/см. Короткі імпульси (1–10 мкс), що генеруються генератором імпульсів високої напруги (5–20 кВ), використовуються для обробки біологічного матеріалу або харчових продуктів, розміщених між двома електродами, встановленими на відстані 0,1–1,0 см один від одного в камері обробки, розділених ізолятором.

Більшість досліджень із застосування PEF у молочній промисловості зосереджено на мікробній інактивації або терміні зберігання і останні дані щодо впливу PEF на фізико-хімічні та функціональні властивості різних молочних

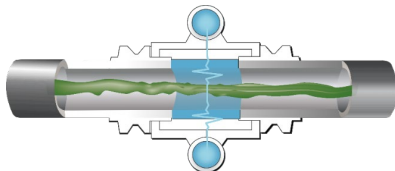
продуктів є досить мізерними. Коров'яче молоко є матеріалом, який найчастіше піддається PEF-обробці. Проте є деякі результати щодо того, як PEF впливає на інші молочні продукти, наприклад сироватку, формули сироваткового білка або козяче молоко.

Доведено, що **технологія імпульсного електричного поля** має сублетальний вплив на інактивацію мікроорганізму, впливає на деякі ферменти і відновлює (до певної міри) фізико-хімічні та функціональні характеристики сирих молочних продуктів у порівнянні з термічною обробкою. **Сублетальними** називаються мутації, які знижують життєздатність особин і частково або повністю зупиняють їх розвиток.

На сьогоднішній день механізм індукованої PEF інактивації мікроорганізмів чітко не визначений. Тим не менш, загальновизнаним і дослідженим явищем, пов'язаним із знищенням та інактивацією мікробів, є електропорація їхньої клітинної мембрани.



а



б

Рис. 9. Устаткування для PEF-обробки: а) установка для обробки молочної продукції в імпульсних електричних полях (PEF); б) схема імпульсного процесу обробки [12]

Обробка PEF викликає зміну трансмембранного потенціалу та ініціює утворення пор у мембранах мікробних клітин.

Електропорація – найсучасніший спосіб уведення лікарських або косметичних речовини углиб шкіри без її пошкодження.

Це призводить до того, що вміст клітин дифундує в навколишнє середовище, що може призвести до загибелі живих клітин. Типова система PEF складається з камери обробки та генератора імпульсів високої напруги. Рідкий продукт закачується в камеру між двома електродами (високовольтним і заземленим електродом) і піддається дії електричних імпульсів (1–100 мкс) електричних полів високої напруги $\sim 15\text{--}60$ кВ/см протягом декількох мілісекунд. Під час застосування електричного поля струм протікає в зразок їжі та передається до кожної точки через наявність заряджених молекул. Імпульси прямокутної форми (монополярні, біполярні) та експоненціально затухаючі є найбільш поширеними формами хвилі, що генеруються під час обробки PEF. Повідомляється, що кращого летального ефекту можна досягти за допомогою біполярних прямокутних імпульсів, які викликають зміну заряду на клітинній мембрані, викликаючи більш ефективне пошкодження клітин. Залежно від напруженості електричного поля, часу обробки та кількості імпульсів пошкодження клітин може бути оборотним або незворотним. Летального ефекту можна досягти лише при необоротній електропорації.

Молоко як потенційна ціль застосування PEF було предметом багатьох дослідницьких робіт, де вивчали вплив PEF на поширені патогени, пов'язані з хворобами харчового походження. Підтверджено, що застосування автономної технології PEF призводить до меншої інактивації мікробів порівняно з термічною пастеризацією. Ефективність обробки молока PEF обмежена через наявність жиру та білків (казеїну), які можуть служити захисниками бактеріальних клітин під час обробки.

Досліджено, що грамнегативні клітини більш чутливі до PEF. Більш високого ступеня інактивації тих самих клітин можна досягти за допомогою обробки PEF (30 кВ/см), застосованої протягом діапазону часу від 200 до 600 мкс

з максимальним рівнем інактивації, досягнутим через 600 мкс ($\sim 5 \log 10$ циклів зниження для *E.coli*).

Контроль ферментативної активності як засобу збереження якості молока та продовження терміну його придатності має велике значення при піддаванні молока PEF-обробці. На зміни у ферментах, спричинені PEF, можуть впливати такі фактори, як тип ферменту, його структура, наявність кофакторів або ступінь денатурації.

Кофактор – небілкова хімічна сполука, органічна або неорганічна, що зв'язується з білками і потрібна для виконання білком своєї біологічної функції.

Основним ефектом, пов'язаним з дією PEF, є зміна конформації ферменту. Однак, подібно до обмеженого зменшення кількості мікроорганізмів, ендогенні молочні ферменти (лужна фосфатаза та лактопероксидаза) зазнають незначного впливу PEF за низьких температур.

Фосфатази – ферменти класа гідролаз, що каталізують гідроліз складних ефірів фосфорної кислоти в живих організмах. Функція фосфатаз – підтримка рівню фосфату, необхідного для різних біохімічних процесів.

Лактопероксидаза – фермент, що надає протимікробну дію, вперше лактопероксидаза виявлена в молоці, де вона присутня в значній кількості.

Як показали наукові звіти, опубліковані за останнє десятиліття, ступінь інактивації, отриманий під час PEF-обробки молока, необхідно покращити, щоб досягти достатнього зменшення кількості бактерій, інактивації ферментів і домінуючої ефективності порівняно з класичною пастеризацією. Деякі проблеми все ще потребують оптимізації та вирішення, перш ніж технологію PEF можна буде перевести в комерційний масштаб.

Технологія імпульсних електричних полів має незначний вплив на харчові компоненти, тому продукти, оброблені PEF, зберігають більш свіжий стан із більшою концентрацією цінних сполук. З огляду на вітаміни, немає значних втрат у кількості вітаміну А та вітаміну С у композиціях 2% ізоляту сироваткового білка, які піддалися обробці PEF (32 кВ/см, час імпульсу 3 мкс, температура на вході $<40^{\circ}\text{C}$, рН 4–7). Крім того, ці вітаміни не зазнають хімічних

модифікацій під час обробки PEF. Як було виявлено обробка PEF дуже незначно або взагалі не впливає на концентрацію імуноглобулінів, присутніх у композиціях ізоляту сироваткового білка.

Ще одне дослідження щодо змін, спричинених PEF (20–40 кВ/см, монополярні прямокутні імпульси 5 і 10 мкс, час обробки, ширина імпульсу 8 мкс) у козячому молоці, показали зниження загального вмісту насичених жирних кислот і поліненасичених жирних кислот і збільшення загального вмісту мононенасичених жирних кислот. Застосована обробка PEF мала незначний вплив на коротколанцюгові жирні кислоти та середньоланцюгові жирні кислоти козячого молока, і цю технологію можна рекомендувати для підвищення якості козячого молока на промисловому рівні.

Вплив обробки PEF на сенсорні властивості молочних рідин на сьогоднішній день не був широко вивчений. За останнє десятиліття опубліковано небагато наукових робіт, присвячених цій темі. Вони зосереджені на впливі PEF на летючі профілі молока, оцінені за допомогою газової хроматографії або мас-спектрометрії та на оцінці змін кольору в тих же середовищах, досліджених за допомогою колориметричного аналізу.

Дослідження виявили, що обробка PEF (15–30 кВ/см протягом 800 мкс, біполярні прямокутні імпульси шириною 2 мкс, частота повторення імпульсів 200 Гц і температура <40°C) призводить до збільшення альдегідів і не змінюють метилкетони молока, тоді як термічна обробка (75°C протягом 15 секунд) викликає збільшення обох сполук. Крім того, немає істотних відмінностей у складі спиртів (етанолу, 3-метилбутанолу, пентанолу, гексанолу та 2-етилгексанолу), кислот (бутанової, оцтової, октанової, гексанової та деканової кислот) та лактонів (δ-додекалактон та δ-декалактон), що були виявлені в сирому, термічно обробленому та PEF-обробленому молоці. Винятком були 2(5H)-фуранон (запах карамелі), виявлений лише в молоці, обробленому PEF, і не ідентифікований одорант, описаний як «жировий і восковий», виявлений у зразку, обробленому PEF, і не виявлений у зразку, обробленому термічно. Враховуючи інтенсивність запаху, ці дві сполуки органолептично сприймаються

як чітко виражені запахи, що вказує на те, що сенсорний профіль молока, обробленого PEF, може дещо відрізнятися від сирого або пастеризованого молока. Подібним чином, для незначного впливу на летючі сполуки, в наслідок аналізу кольору молока, обробленого PEF (30 кВ/см протягом 22 мкс), виявлено, що PEF створює незначні зміни в складі цього продукту.

Обробка імпульсними електричними полями вважається безпечною для навколишнього середовища технологією, яку можна застосовувати в харчовій промисловості для інактивації мікроорганізмів/ферментів і відновлення біоактивних сполук. Однак з метою зниження потреби в енергії для досягнення результатів, у порівнянні зі стандартною пастеризацією, та переведення PEF на промисловий рівень, як конкурентоспроможної технології, необхідний подальший розвиток та удосконалення обладнання. PEF все ще надто складний, щоб легко розширити його від пілотного до промислового. Зазначається, що обробка PEF обійдеться дорожче обробки тієї самої кількості молока, в порівнянні з іншими новими технологіями, такими як мембранна фільтрація та ультрафіолетове випромінювання, або навіть звичайна теплова обробка.

Час обробки розраховується множенням кількості імпульсів на ефективну тривалість імпульсу. Прикладена висока напруга призводить до електричного поля, яке викликає інактивацію мікроорганізмів. Коли прикладається електричне поле, електричний струм протікає в рідку їжу та передається до кожної точки рідини завдяки присутнім зарядженим молекулам. Обробка PEF досягла зменшення мікрофлори молока з терміном придатності, подібним до терміну зберігання високотемпературного короткочасного пастеризованого молока.

Можливість контролювати ступінь омічного нагріву під час консервування харчових продуктів (низькотемпературна обробка) є основною перевагою технології PEF у пастеризації рідких харчових продуктів. Це дозволяє уникнути реакції Майяра, яка впливає на функціональні властивості їжі, такі як колір, смак і запах.

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

Метод дуже масштабований і може бути включений в існуючі лінії харчової промисловості. У порівнянні з традиційною технологією теплової пастеризації, він є більш енергоефективним. Крім того, камери обробки PEF можна легко адаптувати до існуючих безперервних поточкових виробничих ліній для пастеризації рідких харчових продуктів. Основним недоліком технології PEF є її залежність від провідності та в'язкості рідини.

2.4. Ультразвук

Це стосується застосування звукових хвиль із частотою (> 16 кГц), що перевищує верхню межу людського слуху, через рідину, тверді речовини або гази, що викликає утворення маленьких бульбашок (відоме як кавітація). У той час як краплі досягають необхідного діапазону розмірів, вони руйнуються в умовах, близьких до адіабатичних, що призводить до істотних умов як у середині крапель, так і в навколишній рідині, включаючи інтенсивні сили зсуву, турбулентність і ефекти мікропотуку. Ці фізичні ефекти, викликані ультразвуком, все частіше використовуються в харчовій та молочній промисловості, його застосування використовується для посилення ультрафільтрації сироватки, екстрагування функціональних харчових продуктів, зниження в'язкості продукту, гомогенізації кульок молочного жиру, кристалізації льоду та лактози і нарізка сирних блоків.

Ультразвук відноситься до звукових хвиль вище частоти людського слуху (> 20 кГц). Застосування ультразвуку в харчовій промисловості можна розділити відповідно до частотних діапазонів хвиль на низькочастотний (16–100 кГц) і високочастотний ультразвук (100 кГц–1 МГц). Ультразвук високої інтенсивності в основному вивчається для обробки молочних продуктів. Ультразвук як окрема технологія не є ефективним для зменшення кількості мікроорганізмів при

низьких температурах, тому використання ультразвуку як нетермічної технології не є добре вивченою сферою молочних продуктів. Існують обмежені дослідження щодо застосування ультразвуку без термічної обробки або з контрольованою низькою температурою. Підвищені температури та інтенсивність ультразвуку для обробки молока можуть спричинити зміни сенсорних і фізико-хімічних властивостей. Основні застосування ультразвуку високої інтенсивності у молочних продуктах включають гомогенізацію, емульгування, кристалізацію лактози, екстракцію, гідроліз та мікробну інактивацію.

Рушійною силою ультразвукової техніки в молоці є акустична кавітація, викликана ультразвуковими хвилями, що проходять через рідке молоко. Розмір порожнин стає великим у послідовних циклах і, нарешті, створює акустичні кавітаційні бульбашки. Утворюються тисячі бульбашок, і за дуже короткий проміжок часу (у масштабі мілісекунд) відбувається бурхливий колапс завдяки розширенню сил притягання між молекулами харчової системи. Існує три різні механізми дії ультразвуку, а саме:

- механічне пошкодження клітинної стінки, спричинене градієнтами тиску, створеного під час колапсу кавітаційних бульбашок усередині або поблизу клітин;
- мікропотік всередині клітини;
- утворення хімічних сполук під час кавітації, які взаємодіють зі структурою клітинної стінки, викликаючи її розпад.

Враховуючи постійну частоту хвилі, серед основних факторів, що впливають на ефективність ультразвуку високої інтенсивності, є інтенсивність обробки, яка є результатом прикладеної потужності, часу обробки та температури їжі.

У разі інактивації *Enterobacter aerogenes* у знежиреному молоці за допомогою низькочастотного (20 кГц) і високочастотного (850 кГц) ультразвуку було встановлено, що логарифм зменшення лінійно падає зі збільшенням часу обробки ультразвуком. Високочастотний ультразвук не зміг інактивувати *E.*

aerogenes у молоці навіть при потужності 50 Вт протягом 60 хв. В іншому дослідженні молока було оцінено вплив восьми різних комбінацій амплітуди ультразвуку (70 і 100%) і тривалості (50, 100, 200 і 300 с) на їхню летальну здатність проти *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus aureus* і *Debaryomyces hansenii*. Найефективніша обробка (100% на протязі 300 с) призвела до зменшення популяції на 4,61, 2,75 і 2,09 для *D. hansenii*, *P. fluorescens* і *E. coli*. Було виявлено, що *S. aureus* стійкий до найсильнішої обробки, демонструючи лише нерелевантне логарифмічне зменшення.

Релевантність – міра відповідності отриманого результату бажаному.

Ці результати свідчать про те, що дезактиваційний ефект ультразвуку залежить від типу бактерій і параметрів обробки, таких як частота, потужність і час обробки. Багато дослідників підкреслюють, що ультразвукова технологія, застосована сама по собі з використанням контрольованої низької температури, недостатня для ефективного зменшення кількості мікроорганізмів і забезпечення безпеки харчових продуктів. Крім того, низькі температури та помірна інтенсивність ультразвуку можуть бути корисними для стимуляції росту та активності мікроорганізмів. Таким чином, пропонується поєднувати ультразвуку з теплом або тиском, які впливають на фізико-хімічні властивості клітинних мембран і покращують ефекти кавітації, посилюючи мікробну інактивацію. Крім того, вибір використання ультразвуку високої інтенсивності для зменшення мікробного навантаження замість звичайного нагрівання має бути точним, оскільки неефективна ультразвукова обробка може не інактивувати, а стимулювати спороутворюючі бактерії в молочних продуктах.

Ультразвук, застосовуваний як технологія обробки молока, відповідає за підвищення окислення ліпідів у молоці. Обробка ультразвуком (20 кГц, 78 і 104 Вт/4–8 хв за температури <69°C) напівзнежиреного овечого молока не впливає на профілі білків і вільних амінокислот.

Серед повідомлених переваг ультразвуку, який використовують замість термічної обробки для зменшення кількості мікроорганізмів у

багатокомпонентних молочних напоях, є одночасна гомогенізація жиру та кінетична стабілізація. Застосування ультразвуку було розширено для розробки пробіотичних харчових продуктів. Багато досліджень висвітлюють застосування ультразвуку високої інтенсивності у ферментації молока та показують підвищення активності пробіотичної культури і як наслідок, скорочення часу ферментації.



Рис.10. Установки ультразвукової обробки молочної продукції: а) промисловий ультразвуковий гомогенізатор UIP16000 для внутрішньої пастеризації харчових продуктів і напоїв; б) ультразвукова установка UIP4000HDT для нетермічної внутрішньої пастеризації харчових продуктів (наприклад, молочних продуктів, молока, соків, рідких яєць, напоїв) [13]

Його вплив пов'язаний зі змінами в бактеріальних пробіотичних клітинах, оброблених ультразвуком високої інтенсивності, вивільненням β -галактозидази, прискоренням трансгалактозилювання та ферментації гідролізу лактози. Крім

того, як повідомляють, оброблене ферментоване молоко також демонструє вищу поживну цінність завдяки більшому виробленню біоактивних пептидів. Імпульсний ультразвук (час увімкнення 100 с і час вимкнення 10 с; 28 кГц; 100 Вт/л/30 хв) призводить майже до 50% збільшення вмісту пептидів у ферментованому знежиреному молоці.

Наразі не існує ідеальних потужностей ультразвуку або загальних параметрів обробки для кожного застосування, оскільки інші фактори (об'єм зразка, температура, тип продукту) значно впливають на результати. Загалом технологія ультразвуку доведена як перспективний інструмент для розробки пробіотичних харчових продуктів. Незважаючи на те, що ультразвук високої інтенсивності, застосований протягом більш тривалого часу обробки, може зменшити (до певної міри) мікробне навантаження на молоко, така обробка викликає неприємний запах за певних умов. Дослідженнями встановлено, що розширена ультразвукова обробка (потужність звуку 400 Вт, частота 24 кГц, час обробки 2,5–20 хв, температура 45°C) молока може генерувати летючі органічні сполуки, які можуть бути причиною «гумового» аромату. Ці сполуки пов'язані як з окисленням ліпідів, викликаним вільними радикалами, що є результатом розкладання гідропероксидів ненасичених жирних кислот, так і з реакціями піролізу всередині кавітуючих бульбашок. Погіршення якості молока через утворення сторонніх присмаків також спостерігали в наслідок його обробки ультразвуком (постійна частота 24 кГц, ультразвуковий процесор потужністю 400 Вт, на протязі більше 100 с).

З іншого боку, перевагою ультразвуку для обробки молока, є кращі параметри, пов'язані з кольором і стабільністю під час зберігання продукту. Крім того, нетермічна обробка за допомогою ультразвуку високої інтенсивності є цікавою технологією для виробництва напоїв на основі молочних продуктів, оскільки вона забезпечує деякі додаткові ефекти, такі як краще руйнування окремих компонентів молока зі зниженням в'язкості та консистенції.

Ультразвук вважається зеленою технологією. Повідомляється, що він відповідає таким вимогам процесу, як простота та масштабість. Однею з

переваг ультразвуку перед стандартною термічною обробкою є значна економія енергії. Використання ультразвуку в промисловості для обробки молока, ймовірно, відбуватиметься як система безперервного потоку. Він складається з крижаної бані, теплообмінника та ультразвукової реакційної комірки, з'єднаної з двома перетворювачами. Застосування ультразвуку в традиційних молочних процесах має потенціал для значної економії коштів і покращення якості продукції в молочному секторі. Крім того, порівняно з іншими новими технологіями, використання ультразвуку як методики обробки було визнано безпечним. Ці технології включають ультразвук низької та високої інтенсивності. Ультразвук низької інтенсивності використовується для оцінки та визначення фізичних особливостей харчових продуктів, тоді як ультразвук високої інтенсивності навпаки для прискорення конкретних біологічних, фізичних і хімічних процесів під час обробки та перетворення харчових продуктів.

2.5. Холодна плазма

Термічна пастеризація та стерилізація переважно використовуються в молочній промисловості через їхню ефективність у покращенні безпечності продукту та терміну зберігання. Однак теплова обробка може спричинити небажану денатурацію білка, неферментативне потемніння, втрату вітамінів і летких ароматичних сполук, зниження температури замерзання та зміни смаку.

Холодна плазма – це нетеплова технологія, яка привернула увагу останніми роками як потенційний альтернативний метод хімічної та термічної дезінфекції харчових продуктів із використанням кімнатної або помірної температури та короткого часу обробки.

Плазма відноситься до частково або повністю іонізованого газу, який в основному складається з фотонів, іонів, вільних електронів, а також атомів в основному або збудженому стані з чистим нейтральним зарядом. Завдяки своїм унікальним властивостям плазма, визначена як четвертий стан речовини, має

нейтральний заряд. Плазма, яка є частково або повністю іонізованим газом, за своїми термодинамічними властивостями поділяється на теплову і нетеплову. Технологія холодної плазми характеризується іонізованими газами, що містять активні частинки, такі як атоми, електрони, іони та реактивні нейтральні речовини. Це нетеплова та екологічна технологія, яка використовується як альтернатива традиційним методам та іншим потенційним напрямком застосування у харчовій промисловості.

Реактивні групи, утворені холодною плазмою, викликають загибель мікроорганізму шляхом пошкодження клітинної стінки та цитоплазматичної мембрани, структури ДНК та білків клітини. Крім того, синергетичний ефект механізмів, включаючи виробництво озону, заряджених частинок, ультрафіолетового випромінювання, кисневих радикалів та інших реактивних груп, також є ефективним у інактивації мікроорганізмів. У літературі є відомості про застосування холодної плазми в харчовій промисловості, особливо для інактивації бактерій, дріжджів і цвілі. Крім того, холодна плазма впливає на утворення біоплівки та спор. Існують різні дослідження щодо пригнічення розвитку цвілі на поверхні харчових продуктів із застосуванням холодної плазми.

Наразі холодна плазма проходить комплексне тестування на збереження швидкопсувних товарів, таких як молоко та молочні продукти. Використання методів холодної плазми для збереження молока та молочних продуктів було висунуто як революційна нетермічна технологія. Холодна плазма не тільки зберігає поживну цінність їжі, але й інактивує мікроби, усуваючи ризик резистентності. Було також виявлено, що холодна плазма порушує роботу ферментів, які беруть участь у процесах потемніння (зміни кольору) і виробленні неприємного присмаку.

2.6. Ультрафіолетове світло

УФ-світло – це неіонізуюче випромінювання, яке складається з 3 спектрів: спектр УФ-А (від 315 до 400 нм), УФ-В (від 280 до 315 нм) та УФ-С (від 200 до 280 нм). Це вважається нетоксичною та екологічно чистою технологією, яка

використовує фізичну енергію. Процедура може виконуватися під безперервним або імпульсним освітленням, де світлові фотони поглинаються продуктом.

Механізм може бути фотохімічним, коли відбуваються хімічні зміни ДНК і РНК; фототермічним, у разі тривалого часу імпульсної обробки, що підвищує температуру, яка інактивує бактеріальні клітини; фотофізичним, в результаті пошкодження структури клітин. Можна використовувати різні лампи, наприклад ртутні лампи та імпульсне світло, яке як показали дослідження ефективніше, ніж постійне ультрафіолетове світло. Імпульси від цих ламп створюються шляхом стиснення електричної енергії, що постачається ксеноновою газовою лампою.

Окрім типу лампи, ефективність обробки залежить від багатьох факторів, таких як поверхня виробу і каламутність рідини. Чим вище значення непрозорості і чим більше воно каламутне, тим менше проникнення світла. Молоко, наприклад, має високий вміст колоїдних і зважених твердих речовин, через це воно дуже каламутне і непрозоре, тому проникнення світла є низьким і потрібні вищі дози.

Іншими факторами, що впливають, є інтенсивність світла, схеми потоку, геометрія обладнання (наприклад, діаметр труби), температура, час, кількість проходів, розрахунок доз і тип присутніх мікроорганізмів. Як правило, під час використання системи УФ-С слід враховувати рН, вміст води та коефіцієнт поглинання середовища. Крім того, внутрішні фактори, згадані вище, фаза росту, умови процесу, попередні стреси та умови після процесу відіграють важливу роль в ефективності. Через численні параметри, що впливають на ефективність, промислове застосування технології УФ-С є вкрай ускладненим. Доведено, що спектр УФ-С пошкоджує ДНК мікроорганізмів і запобігає їх реплікації. Білки поглинають світло приблизно на 280 нм, що порушує цілісність мембрани, а інші, наприклад, 260 нм є найефективнішим, оскільки це довжина хвилі, яку поглинає ДНК.

Коли світло поглинається ДНК мікроорганізму, починається виробництво фотопродуктів, таких як циклобутанпіримідинові димери, які запобігають реплікації та зупиняють транскрипцію, що призводить до інактивації та смерті

клітини. Таким чином, УФ-С світло здатне інактивувати мікроорганізми. УФ-С, застосоване в молоці, виявилось більш ефективним для зменшення кількості мікробів, ніж пастеризація.

Довжина хвилі випромінювання та УФ-доза є найважливішими параметрами для інактивації мікробів. Довжина хвилі випромінювання залежить від використовуваної УФ-лампи. На обидва фактори впливають штам, вид і тип мікроорганізму (товщина клітини). Крім того, рН, активність води, коефіцієнт поглинання та каламутність мають вплив на ефективність технології. Чим вище каламутність і непрозорість, тим менша ефективність світла для мікроорганізмів. Існують дослідження, в яких згадується, що у випадку з молоком воно видається менш ефективним, що перешкоджає його використанню на промисловому рівні. Було припущено, що рішенням цієї проблеми є пропускання рідких продуктів тонким шаром.

Вегетативні бактерії є найбільш чутливими до обробки УФ-С, дріжджі є більш стійкими, а найбільш стійкими є віруси та найпростіші, залежно від навколишніх факторів, згаданих вище. Що стосується вегетативних бактерій, то грампозитивні бактерії більш стійкі до ймовірної інактивації УФ-С завдяки зовнішньому шару глікопротеїнів і ліпосахаридів. Доведено, що *Listeria monocytogenes* (грампозитивні бактерії) були більш стійкими до ультрафіолетового світла, ніж *Escherichia coli* (грамнегативні бактерії).

Що стосується спорутоутворюючих бактерій ультрафіолетове світло УФ-С ефективне для ендоспор *Bacillus cereus*, але вони більш стійкі, ніж вегетативні клітини, завдяки своєму покриттю. Те саме дослідження показало, що кількісного визначення за допомогою підрахунку на чашках недостатньо через наявність життєздатних, але не культивованих бактерій.

Використання тонкоплівкового УФ-С (рис. 11) (ультрафіолетового С) реактора з елементами, що направляють потік, дозволило зменшити *E. coli* та *L. innocua* на 4,58 log та 3,19 log відповідно. Було використано реактор UV-C для інактивації аеробних бактерій, досягнувши зниження на 4,60 log і 4,70 log при потужності 48 Вт і 39 Вт відповідно.

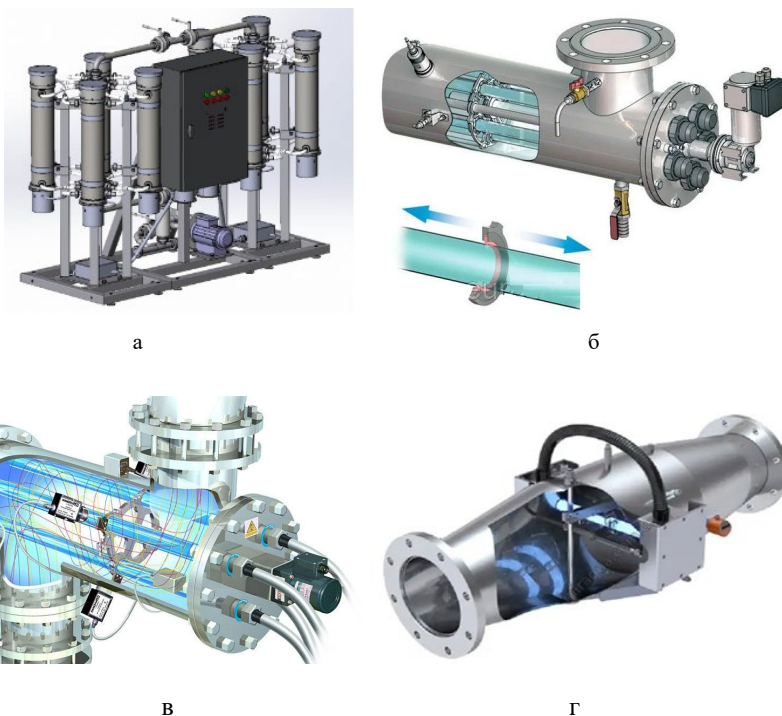


Рис. 11. Установки ультрафіолетової обробки молочних продуктів:
а – УФО-2000; б, в, г – реактор ультрафіолетового знезаражування [14]

Потужність УФ-лампи не вплинула суттєво на концентрацію жиру в молоці, що означає, що необхідно вдосконалити метод, щоб гарантувати ефективне зменшення патогенних мікроорганізмів, якщо час транспортування молока перевищує дві години без охолодження. Було підтверджено, що *L.monocytogenes* повністю інактивується в молоці озонем протягом 15 хвилин. Однак це вплинуло на харчові цінності. Вплив лазерного випромінювання не змінив фізико-хімічні властивості молока, але відсоток зниження був низьким для *E.coli* (30%), *Salmonella* sp (25%), дріжджів (47%) і *Lactobacillus* sp (30%). Комбінація ультразвуку з перекисом водню та активною системою лактопероксидази змогла гарантувати мікробну якість молока, оскільки вона змогла повністю інактивувати *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus pentosus*, *Salmonella Typhimurium*,

Escherichia coli та *Pseudomonas fluorescens* через 10 хвилин при амплітуді 125 мкм. Застосування ультразвуку в поєднанні зі змінами температури, часу та постійного тиску (манотермозонування) досягло мінімального зниження до 1,6 log КУО/мл для *E. coli* та *P. fluorescens* і 1,05 log КУО/мл для *S. aureus*. Потрібні подальші дослідження для забезпечення ефективної інактивації за допомогою манотермозвуку. Застосування високого тиску (400–600 МПа) ефективно інактивувало (5 log КУО/мл) *E. coli*, *Salmonella* та *L. monocytogenes*, *Enterobacteriaceae*, молочнокислі бактерії та *Pseudomonas* spp. Одним із найбільш широко використовуваних методів інактивації мікроорганізмів у коров'ячому молоці є імпульсні електричні поля. Цей метод був застосований для інактивації *E. coli* та *L. innocua*, досягнувши зниження на 2 log КУО/мл. Було виявлено, що поєднання цього методу з попереднім нагріванням при 50°C досягає зменшення кількості *Pseudomonas aeruginosa* на 5–6 log КУО/мл і загального зменшення кількості *E. coli*, *S. aureus* і *L. innocua*.

Отже, для забезпечення мікробної інактивації та безпечності харчових продуктів за допомогою системи УФ-С існує потреба в індикаторі, який показує ефективність процесу, як-от лужна фосфатаза для теплової пастеризації, тести на термін зберігання. Тому для визначення ефективності слід провести подальший аналіз пошкоджених клітин і їх відновлення після реалізації процесу. Прикладом сприятливого ефекту від нетеплових технологій є обробка УФ-С молока та підвищення вітаміну D3. У висновку EFSA щодо молока, обробленого ультрафіолетовим випромінюванням, згадується, що: «Молоко, оброблене ультрафіолетовим випромінюванням, можна порівняти з молоком, обробленим ультрафіолетовим випромінюванням, за винятком вмісту вітаміну D3».

European Food Safety Authority (EFSA) Європейське агентство з безпечності харчових продуктів – агентство Європейського союзу, яке надає незалежні консультації та інформацію щодо існуючих та можливих ризиків, пов'язаних з харчовими продуктами й кормами.

Було виявлено, що коров'яче молоко містило сліди вітаміну D3, тоді як молоко, оброблене ультрафіолетовим випромінюванням, містило значну

кількість специфічного вітаміну (0,5–3,2 мкг/100 г у незбираному молоці та 1,5 мкг/100 г у напівзнежиреному молоці). Вплив обробки УФ-С на вітаміни в молоці залежить від інтенсивності світла, початкової кількості вітамінів в молоці та кількості проходжень УФ-С через систему

Обробки УФ-С твердих харчових продуктів, таких як сир, може бути складним через низьке проникнення. Було показано, що після 4 днів подовженого терміну придатності мікробна популяція сиру Fiordilatte, обробленого ультрафіолетовим випромінюванням, була такою ж, як і початкова. Це може бути пов'язано з інактивацією бактерій лише на поверхні сиру. Досліджено ефективність імпульсного ультрафіолетового світла на упакованих і неупакованих твердих американських сирах. Був зроблений висновок, що така обробка ефективна для *Listeria monocytogenes* і *Penicillium roqueforti* як для упакованих, так і для неупакованих сирів. *Penicillium roqueforti* продемонстрував вищу стійкість до ультрафіолетового світла. Однак після помірних (30 с на 8 см) і екстремальних (60 с на 5 см) умов спостерігалось перекисне окислення ліпідів і значення для кольорових характеристик значно змінилися. М'які умови (5 с на 13 см) не забезпечили відмінностей у кольорі чи окисленні ліпідів для всіх зразків.

Органолептичний профіль, як і ефективність системи, залежить від використовуваного обладнання, дозування, експозиції та проходів. Наприклад, лампа системи відіграє важливу роль при обробці харчових продуктів УФ-С. Показано, що спостерігалось осадження білків у молоці, яке зберігалось при 4°C протягом 4 днів, при використанні лампи НІР (нової безртутної УФ-лампи) і поліхроматичної ртутної лампи середнього тиску. У тому ж дослідженні було встановлено, що перспективною альтернативою ртутним лампам є імпульсні ультрафіолетові лампи.

Аналіз летючого профілю сиру, обробленого ультрафіолетовим випромінюванням, показав, що альдегіди та вуглеводні суттєво відрізнялися від контролю, ймовірно, через окислення ліпідів при вищій дозі, ніж 4 Дж/см². Концентрації амінокислот також значно відрізнялися, і виявлено також

неприємні органолептичні характеристики через специфічні сполуки та «горілий» присмак. Однак, коли свіжий кашарський сир (кашар, кашкавал) обробили ультрафіолетовим випромінюванням, не спостерігалось жодних змін у окисленні ліпідів, значенні рН і вологості. Інше дослідження свіжого кашарського сиру не виявило суттєвих відмінностей у золі, рН, жирі, білку та твердості свіжого кашарського сиру порівняно з контрольним зразком (необробленим) до 9,63 кДж/м². Оцінка кашарського сиру, обробленого дозою 1,93 кДж/м², зменшувалася зі збільшенням дози, тоді як зразки все ще були прийнятними при найвищій дозі (9,63 кДж/м²).

Конкретний процес вважається безпечним для навколишнього середовища та ефективним з точки зору витрат. Електрична енергія зазвичай використовується для вимірювання економічної ефективності УФ-системи. На конкретний фактор впливає тип лампи та геометрія реактора.

2.7. Опромінення

Попит на сирі та свіжі молочні продукти з бажаними органолептичними характеристиками та користю для здоров'я привів до досліджень технологій нетермічної обробки, спрямованих на збереження всіх якостей продукту та поживних речовин. Опромінення – це нова нетеплова технологія, яка використовується для знищення мікро- та макроорганізмів, які можуть існувати в харчових продуктах, під впливом гамма-променів (γ) від радіоактивних ізотопів (кобальту⁶⁰ або цезію¹³⁷) та прискорювача електронів (електронний промінь або рентгенівське випромінювання в контрольованому середовищі). Завдяки підтримці багатьох міжнародних харчових та медичних організацій, таких як Продовольча та сільськогосподарська організація (ФАО) та Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ), опромінення все ширше досліджується як процес підтримки якості і підвищення безпеки продуктів. Опромінення має потенціал для зниження алергенної реакції та забезпечення стерильної дієти для пацієнтів з ослабленим імунітетом. На відміну від інших категорій харчових продуктів, використанню опромінення як методу консервування молочних

продуктів приділялося мало уваги через складність різновидів продукту. Хоча в деяких країнах існує прийняття опромінення як альтернативного заходу обробки, але запобігання потенційним проблемам у харчовому ланцюзі стикається з суворим опором у багатьох країнах.

Принципи опромінення. Опромінення харчових продуктів передбачає вплив іонізуючого випромінювання на розфасовані харчові продукти отримані з використанням випромінювачів, які виробляють контрольовану кількість рентгенівського випромінювання високої енергії, а саме, електронні пучки (β -частинки) або гамма-промені (γ) від радіоактивних ізотопів кобальту (^{60}Co) або цезію (^{137}Cs) у контрольованому середовищі. Всі три види випромінювання призводять до збудження атомів у цільовому харчовому продукті, але енергія обмежена. Однак іонізуюча радіація згубно впливає на мікроорганізми в харчових продуктах, якщо застосовувати її в певній дозі. Енергія іонізуючого випромінювання інактивує мікроорганізми, пошкоджуючи критичний елемент у клітині переважно хромосомну ДНК. Випромінювання перешкоджає розмноженню і доволіно припиняє більшість функцій клітини мікроорганізмів. Пошкодження ДНК є результатом прямого зіткнення між енергією випромінювання та генетичним матеріалом або в результаті взаємодії між сусідньою молекулою, яка в більшості випадків є молекулою води, і випромінюванням енергія, яка потім реагує з ДНК.

Ефективність дози опромінення залежить як від складу їжі, так і від зовнішніх факторів таких як наявність або відсутність кисню, вміст вологи, щільність і температура. Незалежно від поглиненої дози, опромінення дійсно є низькоенергетичним процесом, де у високому діапазоні доз, температура продукту підвищується лише на кілька градусів Цельсія. Слід зазначити, що опромінені харчові продукти не є радіоактивними після поглинання енергії (нижче 5 MeV і 10 MeV енергії гамма (γ) променів та енергії електронів відповідно), якої недостатньо для впливу на нейтрони в ядрах харчових молекул. Це важливо з точки зору прийнятності процесу.

Гамма (γ) промені. Теоретично це вважається найпростішою формою опромінення, фотони випромінюються радіоактивними ізотопами кобальту (^{60}Co) або цезію (^{137}Cs). Фотони мають відносно вищу частоту і отже енергію в порівнянні з рентгенівськими фотонами. Глибина проникнення може становити кілька футів і енергія може впливати на патогенні мікроорганізми будь-де в межах цього діапазону. Незважаючи на те, що гамма (γ) промені можуть бути простими в концепції, на практиці їх застосування є більш складнішим. Радіоактивні ізотопи виробляються завдяки впливу активної зони ядерного реактора. Більш того, вони не можуть бути керованими у напрямку або інтенсивності. Щоб утримувати гамма (γ) випромінювання, джерело зазвичай занурюють у воду і його ізолюють кількома шарами бетону.

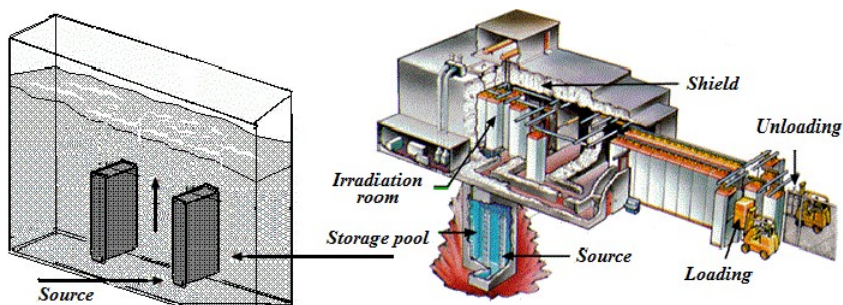


Рис.12. Схема застосування обладнання для (γ) опромінювання молока та молочних продуктів [15].

Поки переважають засоби стерилізації гамма-випромінюванням через їхню проникаючу здатність, Технології електронно-променевої стерилізації використовуються компаніями, зацікавленими у використанні неіонізуючої енергії. Основний склад приміщень для опромінення:

- 1) Радіаційний щит: бетонні стіни (1,5–1,8 м) завтовшки запобігають виходу гамма-променів в навколишнє середовище.
- 2) Кімната для опромінення: коли кобальт знаходиться у воді, люди можуть безпечно входити в неї.
- 3) Стелаж і басейн із джерелом випромінювання: кобальт захищений під водою в підземному резервуарі (коли не використовується). Персонал може

увійти в приміщення, коли джерело опущено і вода набереться радіаційної енергії.

4) Конвеєрна система: обробка контролюється швидкістю конвеєрної стрічки. Сума необхідної енергії залежить від щільності навантаження.

5) Завантаження: упакована їжа завантажується на конвеєрну стрічку для обробки

Електронний промінь. Електронні пучки високої енергії утворюються в електронній гарматі і їх легше направляти за допомогою магнітного поля. Слово «опромінення» в цьому випадку може ввести в оману тому, що їжа не піддається впливу електромагнітного випромінювання або бета-променів, а сам процес має подібний ефект до опромінення гамма (γ) променями. Екранування під час процесу все ще необхідне, але не настільки як у разі гамма (γ) променів, де використовуються бетонні бункери. Основним недоліком електронного променя є його глибина проникнення, обмежена приблизно дюймом, що стримує його застосування до багатьох продуктів харчування.

Переваги гамма-випромінюванням включають: можливість відключення джерела високої інтенсивності випромінювання; короткий час опромінення; повністю контрольований процес; малі зони обробки та простота конвеєрної системи. Електронний промінь використовується в діапазоні 0,3–12 МеВ. Вимоги, пов'язані з будівництвом, валідацією та використанням установок на основі опромінювачів, подібні до правил і процедур, розроблених для гамма-стерилізації у промисловості.

Валідація – процес підтвердження відповідності (обґрунтованості) або надання законної сили.

Молоко та молочні продукти є важливими елементами харчового ланцюга. Харчова промисловість використовує значну кількість рідкого і сухого молока, згущеного молока, вершків і вершкового масла в сирому вигляді, в якості сировини для подальшої переробки, а споживачі використовують молоко для приготування їжі та напоїв. Однак сире молоко та його похідні є основними джерелами харчових інфекцій. Мікробіологічне забруднення відбувається на

різних стадіях виробництва (доїння, обробка, додавання інгредієнтів), отже потенційно небезпечним може бути весь ланцюг переробки. Бактерії коліформні, психротрофні і мезофільні та молочнокислі бактерії (LAB), *Listeria monocytogenes*, види *Salmonella*, та *Staphylococcus aureus*, як повідомляється, є найпоширенішими патогенами мікроорганізми псування, присутні в багатьох харчових продуктах і здатні виживати в молоці та молочних продуктах. Усі вони були причинами великих інфекційних спалахів серед споживачів молочних продуктів і скорочення терміну зберігання.

Через економічні обмеження триває пошук екологічних технологій ефективнішої стерилізації молочних продуктів, він має вирішальне значення, оскільки патогени стали основною проблемою в промисловості. Це вимагає подальших досліджень нових технологій нетермічної обробки, які мають здатність зберігати якість і поживність, а також через прихильність людини до споживання сирих молочних продуктів, оскільки вони мають кращий смак. Опромінення є однією з нетермічних технологій що викликало як суперечки, так і значну дослідницьку цікавість щодо обробки їжі за останні кілька десятиліть. Існує повільне прийняття в опроміненні молочного продукту завдяки наявності ефективного знищення хвороботворних мікроорганізмів шляхом термічної пастеризації. Звіти про розвиток стороннього присмаку в опроміненних молочних продуктах також перешкоджають використанню процесу. Це, однак, було спростовано дослідженнями, які дійшли висновку, що опромінення на низьких рівнях доз або в заморожених умовах може бути ефективною обробкою без шкоди для органолептичних властивостей. Сьогодні у Франції та Чехії казеїн і казеїнати очищаються опроміненням з максимальною дозою 3 кГр для мікробного контролю.

Грей (Гр, Gy) – одиниця вимірювання поглиненої дози іонізуючого випромінювання в системі SI. Один грей дорівнює дозі випромінювання, за якої опроміненій речовині масою один кілограм передається енергія один Джоуль будь-якого іонізуючого випромінювання.

Властивості молочних продуктів. У своєму природному стані молоко дуже схильне до швидкого псування під дією природних ферментів та мікробів.

Ці псування виникають через наявність нейтрального рН і високого вмісту води. Молоко містить широкий спектр поживних речовин, таких як білок, вуглеводів, вітамінів, жирів і мінералів, і вони служать відповідним середовищем для росту мікроорганізми, бажаних чи небажаних.

Сир – це молочний продукт, отриманий з молока корів, кіз, овець або буйволиць. Сир є гарним джерелом білка, кальцію, фосфору та вітаміну В₁₂, він утворюється шляхом підкислення молока та додавання сичужного ферменту, що викликає коагуляцію молочного білка казеїну.

Після коагуляції сирна маса, яка має вигляд твердих шматочків, відокремлюється та пресується до кінцевої форми. Сири як тверді, так і м'які виробляються в широкому діапазоні текстур, смаків і стилів залежно від походження молока, раціону тварин, вмісту вершкового жиру, сирого або пастеризованого молока, типу обробки та витримки. Сири (наприклад, зрілий чеддер), витримуються до року і довше перш ніж вони будуть готові до вживання. У Великій Британії, наприклад, існують сотні різновидів сирів, що виробляються. Сир цінується за подовжений термін зберігання, транспортабельність, високий вміст жиру та поживних речовин. Сир, на відміну від молока, щільніший і зберігається довше, але це залежить від виду сиру. У процесі витримки і зберігання сиру при низькій температурі утворюється пліснява часто виникають нарости, що призводить до втрати через обрізки або повне викидання. У дослідженнях впливу радіації на сир використовували метод інокуляції сиру, який був засіяний мікроорганізмами після виробництва перед пакуванням і пізніше опромінений.

Дослідження виявили, що сир, інокульований *Penicillium cyclopium*, опромінених при 10°C дозами 0,21 і 0,52 кГр, мав термін зберігання, який становив 15 і 17,5 днів, відповідно, показуючи приблизне подовження на 3 і 5,5 днів. З іншого боку, сир інокульований *Aspergillus ochraceus*, за такої самої обробки та умов, мав термін придатності 65 і 74 дні, відповідно, демонструючи подовження приблизно на 41,5 і 50,5 днів у порівнянні з контролем. Збільшення дози обробки з 0,52 до 1,15 кГр показали пригнічення росту мікроорганізмів до

98 днів як при 10, так і при 15°C. Також сир з 10-кратним збільшенням спор *P. cyclopium* (500 спор/см² на поверхню) і опроміненням при 1,2 кГр мав термін зберігання 52,5 дня при 10°C, що на 44,5 дня більше порівняно з контролем. Навпаки, сир, інокульований 10-кратним *A. ochraceus*, показав термін придатності 107 днів незалежно від температури зберігання. Таким чином дійшли висновку, що опромінення є засобом подовження зберігання продукту. Доведено, що термін придатності вакуумно упакованого сиру чеддер залежить здебільшого від природи забруднювача.

В опромінених зразках не було виявлено колоніальних, плісняви та дріжджів, що свідчить про пригнічення мікроорганізмів опроміненням електронним променем. Також повідомлялося про вплив опромінення на максимальне клітинне навантаження, досягнуте на стаціонарній фазі *Pseudomonas sp.* поряд із подовженням часу затримки проти змінних доз опромінення. За даними дослідження, підвищені дози опромінення значно збільшили термін придатності продукту.

У сенсорному аналізі спостерігалися невеликі варіації в різних дозах опромінення підтверджуючи гіпотезу про те, що дози опромінення (< 2 кГр) не погіршують сенсорні властивості сиру.

Йогурт – це кисломолочний продукт, виготовлений з молока корів, кіз і овець, його походження пов'язане з Балканами та Близьким Сходом. Характеризується свіжим кисломолочним смаком у поєднанні з насиченим, приємним та інтенсивним молочним присмаком. Йогурт вважається безпечним у момент споживання, якщо його вживати зразу після пастеризації, яка запобігає зараженню, завдяки наявності життєздатного вмісту мікрофлори закваски культур і низький рН. Зазвичай йогурт має термін придатності 3 тижні або менше. Наявність заквасок, незважаючи на користь для здоров'я, може поставити під загрозу здоров'я пацієнтів з ослабленим імунітетом. Пробіотичний ефект йогурту, консервуючий ефект молочнокислих бактерій і низький рН можуть бути пов'язані зі зберіганням йогурту після опромінення. Нездатність бактерій виживати після опромінення може бути наслідком летального ефекту

опромінення, що призводить до пошкодження клітин бактерій, таким чином запобігаючи поділу і розмноженню, які перешкоджають адаптації до середовища під час зберігання.

Променева обробка морозива довела, що вона ефективна у зменшенні або усуненні росту мікробів у ньому без впливу на органолептичні властивості та харчову цінність; доза 1 кГр була достатньою для усунення патогенів присутніх у морозиві.

Молоко та харчові покриття. Їстівні покриття – це будь-який тонкий матеріал, який використовується для покриття або обгортання харчових матеріалів з метою відокремлення їжі від навколишнього середовища, зменшуючи вплив таких факторів псування як сторонні присмаки, кисень, мікроорганізми та водяна пара. Також допоможуть уникнути втрат бажані сполуки, такі як ароматизатори, що подовжує термін придатності харчових продуктів. Застосування їстівних плівок і покриттів харчовою промисловістю для продовження терміну зберігання їжі, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу, заслуговують на дослідження процесу і композиції для покращення продуктів. Протеїни, яким приписують хорошу плівкоутворюючу здатність, але помірний бар'єр, можуть бути покращені структурно за допомогою обробки, наприклад гамма-опромінення, яке є ефективним у покращенні функціональних (бар'єрних і механічних) властивостей їстівних плівок, виготовлених з казеїнату окремо або в комбінації з іншими сполуками (гліцерин, як пластифікатор). Дослідження показали, що зшивання, викликане гамма-опроміненням, було більш ефективним по відношенню до казеїнатів, ніж до сироваткових білків, зшивання яких краще реалізується при нагріванні.

Утворення поперечних зв'язків відбувається в опромінені харчових продуктах і плівках за рахунок збільшення когезійної сили білка після обробки. Було вивчено ефективність гамма-опромінення у виробництві стерилізованої їстівної плівки з опромінених білків молока, таких як казеїнатів кальцію і натрію при двох рівнях концентрації 5% і 7,5% (мас./мас.) по відношенню до трьох опроміньєнь дози 4, 8 і 12 кГр. При 5 % (мас./мас.) концентраціях обробляють

розчини казеїнату кальцію дозами в діапазоні від 4 до 12 кГр і при цьому виробляється значно більше бітирозину. Значне збільшення виробництва бітирозину може бути причиною явної нерозчинності у плівках, отриманих з опромінених розчинів порівняно з неопроміненими розчинами, що утворюють водорозчинні плівки. Значення міцності плівки на прокол при однаковій дозі опромінення становили у випадку вмісту казеїнату кальцію вище, ніж казеїнату натрію, що вказує на те, що це функції двох протиіонів (кальцію та натрію) незалежно від дози опромінення і концентрації білка.

Переваги опромінення молочних продуктів. Судячи з попередніх і поточних досліджень, застосування нетермічної консервації (опромінення), можуть забезпечити безпечну та здорову їжу з перевагами для навколишнього середовища. Існує ще багато питань, які торкаються використання опромінення в молочному секторі, проте їм приділено замало уваги.

2.8. Технологія мембранної сепарації

Це спосіб поділу рідини на два потоки за допомогою напівпроникної мембрани. Два потоки називаються ретентатом і пермеатом відповідно. Конкретні компоненти молока і сироватки можна розділити за допомогою мембран з різними розмірами пор. Технологія мембранної фільтрації пропонує різноманітні застосування в сирній промисловості, включаючи підвищення поживної якості, покращення контролю складу та виробництва за рахунок збільшення загального вмісту сухої речовини, використання сироватки під час виробництва сиру та мінімізації потреби в сичужному ферменті та заквасці. Концентрація молока перед виробництвом сиру відкриває новий ринок для сирної промисловості, знижуючи витрати та прискорюючи весь процес.

Мембранна фільтрація застосовується в молочній промисловості з 1960-х років і заснована на розділенні сполук шляхом блокування одних (ретентат) і пропускання інших (пермеат). Рідкий продукт проходить через мембрану під дією гідростатичного тиску (трансмембранний тиск). Мембрани визначаються розміром їхніх пор та їх відсіканням. Під час MF частинки, що проходять через

мембрану, мають розміри 0,2–2 мкм, і порівняно з UF тиск значно нижчий. UF використовує напівпроникні мембрани, через які можуть проходити лише вода та сполуки з низькою молекулярною масою. RO – це процес, який використовує високий тиск, і тільки низькомолекулярні розчинники можуть проходити через пори. NF можна вважати типом RO, що дозволяє лише одновалентним іонам проходити крізь мембрани.

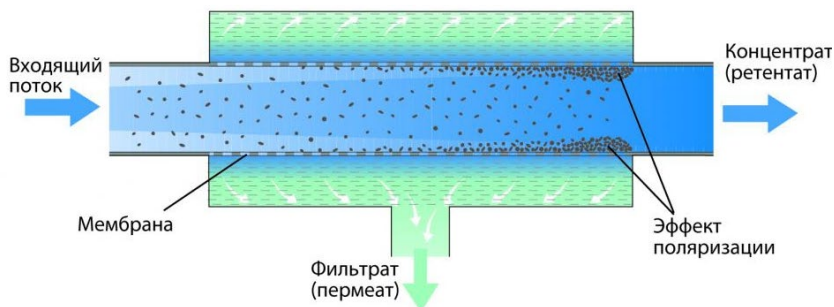


Рис. 13. Схема мембранної фільтрації [16]

Мембрани з ацетату целюлози зазвичай використовуються через їх низьку вартість і низький відсоток забруднення. Електромембрани перехресного потоку також відомі своєю низькою ціною та легкістю масштабування. Використання в молочній промисловості здебільшого орієнтоване на фракціонування жиру та білків, демінералізацію, подовження терміну придатності молока та очищення або обробку сироватки. Очищення сироватки має важливе значення для захисту навколишнього середовища, оскільки більша частина сироватки і розсолу є відходами. Під час фільтрації мінерали та інші небезпечні сполуки не потрапляють у навколишнє середовище. Іншими прикладами є використання MF для зменшення кількості соматичних клітин у молоці і RO, що вже використовується для виробництва концентрованого молока.



Рис. 14. Обладнання фільтрації для молока Tetra Pak Global [17]

Багатьма дослідженнями доведено, що мікрофільтрація є ефективною процедурою для видалення мікробів і спор. Деякі автори зазначають, що використання лише MF для мікробної безпеки не рекомендується, оскільки спори та деякі патогенні бактерії можуть виживати та рости протягом терміну придатності таких продуктів, як молоко. Інші вважають, що мікрофільтрація за допомогою керамічних мембран є безпечним і неінвазивним способом очищення. Tetra pack International SA у Швейцарії вже використовує Bactocatch для видалення мікробів у знежиреному молоці за допомогою трансмембранної керамічної мембрани з поперечним потоком 1,4 мкм. Крім того, керамічні мембрани Isoflux TM ефективні для виробництва ESL молока (Абревіатура ESL (Extended Shelf Life) перекладається як «продовжений термін придатності»). В поєднанні з теплом, вони можуть видаляти спори та підтримувати постійний потік, а тому широко використовуються в промисловості.



Рис. 15. Керамічні мембрани Isoflux TM [18]

Мембранна фільтрація вже є технікою для виробництва ESL молока. Вона також використовується для фракціонування молочних білків, які шляхом гідролізу призводять до виробництва корисних пептидів. Окрім фракціонування білків, ферментативна активність може бути знижена. Однак існує потреба у вищій ефективності фракціонування та вищій пропускній здатності.

MF може знизити температуру УНТ молока на 20°C і в поєднанні з пастеризацією здатна забезпечити термін придатності 30 днів при зберіганні (при 4–6°C). Крім того, це дозволяє зберігати білки та їх комерціалізацію. Баланс між забезпеченням безпеки та збереженням поживної якості молока ESL дуже складний. Як згадувалося раніше, постійний потік також важко підтримувати, але мембрани товщиною 1,4 мкм можуть працювати для безперервного потоку, без відторгнення дорогіших сполук, таких як білки, і досягти зменшення мікробів. Основним недоліком є те, що жир приблизно такого ж розміру, як мікроби, що призводить до швидкого забруднення і, отже, низької продуктивності системи.

Отже, вони є перспективними для виробництва інноваційних продуктів, оскільки харчова цінність продуктів не змінюється і їх можна використовувати для фракціонування білків. І останнє, але не менш важливе: їх можна використовувати для очищення розсолу, оскільки це забезпечує мікробіологічну безпеку та не впливає на білки та солі в розсолі.

Для виробництва сирів молоко, отримане з MF, вважається придатним завдяки оптимізації його компонентів і мікробній преміальній якості. Що

стосується переробки молочного жиру, мембрани використовуються для виробництва молочних вершків підвищеної якості та збільшеного терміну зберігання. RO може концентрувати молоко, не впливаючи на будь-які його компоненти, і видаляти 70% води без нагрівання, тоді як пермеат UF складається лише з води та лактози.

Було доведено, що використання розсолу, одержаного з MF, дозволяє отримати сири для дозрівання вищої якості порівняно з розсолом, одержаним за допомогою нагрівання, провели трикутні тести знежиреного молока MF і non-MF, щоб визначити відмінності протягом терміну придатності. При охолодженні через 5 днів випадково обрані учасники для дегустації не змогли виявити жодних відмінностей, тоді як при охолодженні через 24 дні між зразками була значна різниця. Відмінності були засновані на «легшому смаку», «менш солодкому» та «менш вершковому», і ці спостереження пояснювались зменшенням вмісту твердих речовин у молоці MF. Використання мембран у молочній промисловості забезпечує продукти вищої якості та створює простір для інновацій, до того ж доведено, що сенсорні характеристики молока також покращуються.

Вартість встановлення обладнання подовженого терміну придатності (ESL) молочного продукту, отриманого методом мікрофільтрації, нижча за вартість ультрависокої температури (UHT). Встановлення мікрофільтрації продуктивністю 25 000 л/год з нагрівачем вершків коштує близько 600 000 євро, тоді як вартість установки UHT ESL становитиме приблизно 1 000 000 євро за ту саму потужність.

Мембрани в сирній промисловості здатні концентрувати сирне молоко, збільшуючи вихід і якість, одночасно контролюючи об'єм сироватки. Тепер можливо відновити фактори росту з сироватки завдяки прогресу в мембранній технології. Мембранну фільтрацію в основному можна розділити на чотири основні технології, які є такими:

Мікрофільтрація (MF). Мікрофільтрація – це техніка мембранної фільтрації, яка використовує мембрану з відкритою структурою та працює від низького тиску. Мембрана пропускає розчинені компоненти, відкидаючи

більшість нерозчинених компонентів. Мікрофільтрація широко використовується в молочній промисловості для зменшення бактерій і спор, видалення жиру з молока і сироватки, а також стандартизації білка і казеїну (рис.16, табл.2).



Рис. 16. Установка мікрофільтрації молока компанії Лакта-Сервіс [19]

Таблиця 2

Основні технічні характеристики установки мембранної мікрофільтрації молока

Найменування	Характеристика
Мембрана:	
Тип	Керамічні або полімерні
Пористість	0,1–1,4 мкм (залежно від задачі: видалення спор, бактерій або жиру)
Форма	Трубчасті, спіральні намотані, пластинчасті або капілярні
Ресурс	Зазвичай від 2 до 5 років залежно від умов експлуатації
Продуктивність установки	Від 500 до 20,000 літрів на годину
Тиск подачі молока	0,5–4 бар (залежить від типу мембран і задачі)
Потужність насосів	1–20 кВт, залежно від продуктивності установки
Видалення бактерій і спор без пастеризації	до 99%

Ультрафільтрація (UF). Ультрафільтрація – це процес мембранної фільтрації, який працює при середньому тиску. Ультрафільтрація працює шляхом пропускання більшості розчинених і нерозчинених компонентів через мембрану з середньою відкритою структурою, відкидаючи більші компоненти. UF широко використовується в молочній промисловості для концентрації сироваткового білка та молочного білка, а також для стандартизації молока (рис. 17, табл. 3).



Рис. 17. Установа ультрафільтрації молока компанії Лакта-Сервіс [20]

Таблиця 3

Основні технічні характеристики установки мембранної ультрафільтрації
молока

Найменування	Характеристика
Тип мембрани	поліамід, целюлоза або поліетилен
Пористість	1 – 100 нм
Продуктивність установки	Від кількох десятків до тисяч літрів на годину залежно від розмірів установки
Робочий тиск, не вище	1МПа
Вміст білку у сухих речовинах	34–85%

Нанofільтрація (NF). Нанofільтрація є проміжним етапом у процесі мембранної фільтрації високого тиску. Загалом, нанofільтрація – це тип зворотного осмосу, у якому мембрана має дещо більш відкриту структуру, яка пропускає переважно одновалентні іони. Мембрана значною мірою відкидає двовалентні іони. Нанofільтрація в основному використовується в молочній промисловості для спеціалізованих застосувань, таких як часткова демінералізація сироватки, виробництво молока без лактози та зменшення об’єму сироватки (рис. 18, табл. 4).



Рис. 18. Установка мембранної нанofільтрації молока компанії Лакта-Сервіс [21]

Таблиця 4

Основні технічні характеристики установки мембранної
нанофільтрації молока

Найменування	Характеристика
Тип мембрани	Полімерні (наприклад, з поліамідного матеріалу) або керамічні.
Пористість	1 – 10 нм
Продуктивність установки	500 – 20000 літрів на годину
Робочий тиск, не вище	4 – 30 бар (залежить від типу мембран)
Фільтраційний модуль	Кілька мембран, встановлених у модулі, що працює за каскадним режимом
Ступінь видалення домішок	Лактоза: часткове видалення залежно від налаштувань

Зворотний осмос (RO). Зворотний осмос – це процес мембранної фільтрації під високим тиском, у якому використовується дуже щільна мембрана. Теоретично крізь шар мембрани проходить лише вода.



Рис. 19. Установки зворотного осмосу компанії Лакта-Сервіс [22]

Таблиця 5

Основні технічні характеристики установки заворотного осмосу

Найменування	Характеристика
Тип мембрани	Полімерні (наприклад, з поліамідного матеріалу)
Пористість	0,1–1 нм
Продуктивність установки	500 – 10000 літрів на годину
Робочий тиск, не вище	10 – 30 бар, максимальний до 40 бар
Основний модуль зворотного осмосу	Включає мембрани, які видаляють забруднення та концентрують молоко
Ступінь очищення	95–99% забруднень, включаючи мінерали, бактерії та органічні сполуки

Зворотний осмос зазвичай використовується в молочній промисловості для концентрації або зменшення об'єму молока та сироватки, відновлення сухих речовин молока та регенерації води.

2.9. Застосування біотехнології в молочній переробці

Останні біотехнологічні досягнення стали важливим інструментом для розробки якісних характеристик продуктів тваринництва, таких як молочні продукти та продукти на молочній основі. У більшості країн, що розвиваються, біотехнологія була використана для покращення обробки харчових продуктів шляхом використання мікробних інокулянтів для покращення таких якостей як смак, аромат, термін придатності, консистенція та поживний вміст їжі, в тому числі і молочних продуктів. Пробіотичні харчові продукти – це швидко зростаючий сегмент функціонального харчування, який був добре сприйнятий споживачами. Харчовий сектор, з іншого боку, прагне запропонувати різноманітні пробіотичні продукти, вироблені з молока, з потенційною користю для здоров'я.

Крім того, сучасна біотехнологія відкриває нові та захоплюючі можливості в молочній промисловості, роблячи молоко та молочні продукти більш доступними для бідних і задовольняючи потреби більшої кількості населення. Оскільки основна відповідальність молочної промисловості полягає в тому, щоб забезпечити споживачів високоякісними, поживними та доступними молочними

продуктами, біотехнологічне втручання на різних етапах виробництва та переробки молока стало вирішальним. Вона забезпечує смачною, поживною, корисною, зручною, стабільною та безпечною їжею. Поки тривають дослідження та розробки, проте біотехнологія неминуче матиме більший вплив на їжу, яка споживається. Вона має величезний потенціал для розширення різноманітності та якості їжі, доступної для людей, особливо більш здорової та привабливої їжі. Також здається ймовірним, що це й надалі приносить переваги харчовій промисловості та моніторингу безпеки, оскільки нові технології розвиваються швидше. Крім того, біотехнологічне застосування відіграє визначну роль у біозбереженні молочних продуктів, маніпуляції з пробіотиками та їх виробництві, виробленні ферментів, біоактивних пептидів, отриманих з молока, та інших функціональних інгредієнтів, технології стартових культур і генетичні маніпуляції.

2.10. Біоконсервація

Молочні продукти допомагають задовольнити потребу в основних поживних речовинах, які важко отримати в повсякденному житті без молока та його продуктів, таких як йогурт, сир, масло. Молоко практично стерильне, якщо виділяється зі здорового вимені. Нижча температура зберігання і кип'ятіння молока допомагають уповільнити ріст мікроорганізмів, що псують молоко. Біоконсервація – це метод, за якого природна мікробіота або антимікробні речовини використовуються в продуктах харчування для збільшення терміну зберігання. Для цього відбирають доступні мікроорганізми, які контролюють патогенну активність. Основними організмами, які використовуються, є молочнокислі бактерії та їх метаболіти. Вони мають здатність проявляти антимікробні властивості та зберігати природний смак їжі. Молочнокислі бактерії (LAB – Lactic Acid Bacteria) вважаються чудовими біоконсервантами. Інші LAB, такі як нізін, мають широкий спектр застосування в харчовій промисловості та схвалені Управлінням з харчових продуктів і ліків (FDA – Food and Drug Administration).

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

Метаболіти, такі як ентерококи, бактеріофаги та ендолізени, використовуються для біоконсервації та мають багатообіцяючу роль у зберіганні молока. Оскільки вони є економічно важливими завдяки таким суттєвим перевагам як нетоксичність, доступність, неімунотеннісність і широка активність; їх вважають хорошим засобом для біоконсервування.

На молоці та його продуктах можуть розвиватися два види бактерій: бактерії псування і патогенні бактерії. Бактерії псування викликають неприємний смак і запах, тоді як патогенні бактерії викликають хвороби у споживачів. Основні принципи зберігання молока полягають у контролі над мікроорганізмами шляхом їх знищення, інактивації їх спор та ферментів і контролі всіх фізичних джерел, які призводять до погіршення якості молока.

Біоконсерванти відіграють важливу роль через їх сприятливий вплив на здоров'я порівняно з хімічними консервантами. Різні типи мікроорганізмів класифікуються та вивчаються дослідниками, щоб оцінити користь їх використання для збереження молока і молочних продуктів.

2.11. Роль молочнокислих бактерій у консервуванні

Молочнокислі бактерії *Lactococcus* бактерії (LAB) зазвичай включають *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Carnobacterium*, *Aerococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus* і *Vagococcus*. Всі ці мікроорганізми є грампозитивними, нерухомими, неспороутворюючими, паличкоподібними та кокоподібними організмами та здатні до бродіння вуглеводів. Основним продуктом, отриманим в результаті бродіння, є молочна кислота. Кислотні бактерії при ферментації та обробці харчових продуктів схожі на GRAS (загальноновизнані безпечні). LAB можна використовувати для виробництва різних ферментованих молочних продуктів Основні сполуки виробництва LAB для ферментації це органічні кислоти, перекис водню і

бактеріюцини. Крім того, молочнокислі бактерії можна використовувати для виробництва пробіотиків.

Бактеріюцини використовували як біоконсервант, як окремо, так і в поєднанні з іншими методами. Недавнє застосування бактеріюцинів у молочних продуктах для боротьби з патогенами стосується використання молочнокислих бактерій, які призводять до вироблення бактеріюцинів. Переважно молочні продукти, виготовлені з пастеризованого молока, яке зберігається при температурі холодильника, дозволяє розмножувати бактерії, такі як *L.monocytogenes*. Таким чином, обсіменіння може статися на пізніх стадіях обробки молочних продуктів. Застосовують також бактеріюцини для інших цілей, таких як ферментація їжі, покращення смаку та дозрівання сиру. Вони також допомагають покращити безпеку молочних продуктів за допомогою використання різних штамів та шляхом поєднання різних методів консервування, що забезпечують високу якість продуктів. Ці бактеріюцини корисні для профілактики та зменшення кишкових патогенів. Існують деякі типи бактеріюцину, які використовуються для профілактики хвороботворних мікроорганізмів, що передаються через молоко.

Бактеріюцини, очищені чи виділені бактеріями, є чудовою альтернативою хімічним консервантам у молочних продуктах, оскільки вони не становлять ризику для здоров'я. Бактеріюцини можна додавати до молочних продуктів у очищеному або сирому вигляді, як бактеріюцин-продукуючий LAB у процесі ферментації або як ад'ювантну культуру.

Ад'ювант – речовина. У фармакології – речовина, додана до ліків з метою пришвидшення та підсилення дії основного компонента. В імунології – речовина чи організм, які збільшують чи урізноманітнюють реакцію антигенів.

Бактеріюцини та LAB, що продукують бактеріюцин, у ряді випадків використовувалися для успішної боротьби з патогенами в молоці, йогурті та сирах. Однією з останніх розробок є включення бактеріюцинів, безпосередньо у очищеній чи напівочищеній формі, або у вигляді LAB, що виробляє бактеріюцин,

до біоактивних плівок і покриттів, які безпосередньо наносяться на харчові поверхні та упаковку.

Нізін. Бактеріоцин нізін можна класифікувати як лантибіотик і найбільш використовуваний і комерційно доступний бактеріоцин.

Лантибіотики – це протимікробні пептиди, до яких чутливі більшість грампозитивних та частково грамнегативні бактерії.

Вони схвалені як харчові консерванти та визнані Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) найбезпечнішими. Нізін має антимікробну дію проти грампозитивних бактерій, а також молочнокислих бактерій, патогенів, таких як *Listeria* і *Staphylococcus*, і спороутворюючих бактерій, *Bacillus* та ін. Одним із найважливіших застосувань низину було запобігання пізнього вздування молочного продукту, сиру, спричиненого газоутворенням *Clostridium spp.*

Педіоцини. Вони класифікуються як бактеріоцини та комерційно доступні добавки для збереження молочних продуктів. Ці бактеріоцини більш ефективні, ніж інші класи. Вони стабільні у водних розчинах, стійкі до рН і мають незначний вплив на процес заморожування та кип'ятіння.

Лактицини. Лактицини утворюються з штамів *Lc. lactics* і складаються з *lacticins* 3147 і *lactic* 481. Порошковий препарат 3147 був ефективним для боротьби з *Listeria* та *Bacillus* у молочних сумішах для немовлят, натуральному йогурті, сирі та інших молочних продуктах. Однак застосування молочної кислоти в їжі не забезпечує повного знищення патогенів, таких як *L. monocytogenes* та інших.

Ентероцини. Ентероцини – це штами, які розвиваються з ентерококів і безпечні для використання в харчових продуктах, але вони пов'язані з інфекційними мікроорганізмами людини та інших живих організмів. Використовуються ентерококи в харчових цілях, а саме їх очищена форма доступна і придатна для прийому в їжу. Вони стають активними проти харчових патогенів і допомагають запобігати росту інших мікроорганізмів.

Висока вартість виділення та дистиляції бактеріоцину також обмежує комерційне відкриття нових бактеріоцинів і, як наслідок, тільки двоє бактеріоцинів (нізин і педіоцин) є комерційно доступними.

Користь ентерококів для збереження молочних продуктів. Ентерококи були вперше описані вченим Тірселіном у 1899 році. Наявність ентерококів у молоці та молочних продуктах є корисною для сприяння виробництву унікальних і нових побічних продуктів, в тому числі і пробіотиків. Завдяки своїй несприятливій природі, термостійкості та адаптації до різних субстратів і умов навколишнього середовища, вони можуть рости під час заморожування та виживати після пастеризації молока та його продуктів. Отже, ентерококи – це частина сирого і пастеризованого молока. Можуть виникнути високі рівні контамінуючих ентерококів, що призведе до погіршення сенсорних показників у деяких сирах, але вони також відіграють важливу роль у дозріванні сиру та розвитку аромату. Безпечні та комерційно доступні штами ентерококів використовуються в їжу та в якості пробіотиків. Вони не повинні володіти ані факторами вірулентності, ані мати можливість отримати ген стійкості до антибіотиків.

Бактеріофаг як біоконсервант. Бактеріофаги або фаги є найпоширенішими мікроорганізмами на планеті Земля, які широко представлені в продуктах харчування. різного походження. Це віруси, які спеціалізуються на зараженні та розмноженні бактерій і нешкідливі для носія, вони характерні для людини та інших живих організмів. У біоконсервації бактеріофаги можуть працювати як симбіотики в асоціації з ферментуючими організмами під час бродіння. Це дуже ефективний спосіб приготування продуктів харчування. Застосовується для зменшення кількості сальмонели при виробництві чеддера.

Ендолізини. Ендолізини це фагові лізини, які називаються фагово-кодованими пептидоглікан-гідролазами та використовуються з більшістю бактеріофагів для ферментативної деградації пептидогліканового шару бактерії-господаря.

Пептидоглікан – полімер, що складається з цукру й амінокислот, який формує гомогенний шар навколо плазматичної клітинної мембрани бактерій, як частину клітинної стінки.

Ендолізини є хорошими протимікробними засобами через відсутність зовнішньої оболонки у грампозитивних клітин бактерій. У біоконсервації бактеріофаги працюють в симбіозі з ферментативними мікроорганізмами під час бродіння. Роль ендолізинів у біоконсервації молока все ще актуальна, але виділено багато ендолізинів, які діють проти різних харчових патогенів за рахунок того, що на даний момент не існує резистентності до ендолізину.

Ендолізини – протимікробні засоби, кодовані фагом, впливають на клітинну стінку бактерії зсередини, що приводить до вивільнення фагового потомства і знищення харчових патогенів.

У такому випадку трансгенні корови, які експресують більше ендолізину, мають низькі шанси на мастит і забруднення молока *S. aureus*. Ендолізини також відіграють важливу роль у переробці молока, зокрема в ендолізини для знищення *S.aureus* в пастеризованому молоці.

Нещодавні досягнення в інноваційних сучасних технологіях, застосованих у харчовій промисловості, і більш суворі мікробіологічні стандарти харчової безпеки призвели до зменшення кількості випадки харчових отруєнь і псування продуктів. Вони не повністю виключають ризики для здоров'я, пов'язані з неякісними продуктами харчування. Як наслідок, харчова промисловість постійно досліджує нові методи виробництва готової до вживання їжі з мінімальною обробкою, яка зберігає свою поживну цінність і смак. Біоконсервація, як-то бактеріоцини, є ідеальним вибором для збереження готових до вживання оброблених харчових продуктів без зміни їх поживних і хімічних властивостей.

2.12. Профілактика та боротьба з мікрофлорою псування при консервуванні молочних продуктів

Мікробіологічну якість молочних продуктів слід контролювати від сировини до готового продукту. Щоб зменшити грибкове забруднення молочних

продуктів, як профілактичні, так і контрольні заходи зазвичай застосовуються разом. Профілактичні заходи вказують на методи, які допомагають уникнути забруднення під час виробництва та обробки продукту, такі як пакування в асептичних умовах, використання систем фільтрації повітря, належна виробнича санітарія та впровадження системи HACCP.

HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) – система аналізу ризиків, небезпечних чинників і контролю критичних точок. Система HACCP є науково обгрунтованою, що дозволяє гарантувати виробництво безпечної продукції шляхом ідентифікації й контролю небезпечних чинників.

Методи контролю визначаються як методи, які або затримують, або пригнічують ріст небажаних організмів у харчових продуктах, такі як інактиваційна обробка (обробка теплом і високим тиском), контроль температури та хімічний контроль. Крім того, біоконсервація привернула велику увагу в останні роки. Біоконсервація вказує на використання природних організмів (культур) або їхніх мікробних метаболітів, таких як слабкі кислоти, бактеріоцини та харчові ферменти, для подовження терміну зберігання харчових продуктів і підвищення безпеки харчових продуктів.

Молочнокислі бактерії та їх протигрибкова дія. Молочнокислі бактерії – це група мікроорганізмів, які є аеротолерантними, кислотостійкими та каталазонегативними (деякі штами LAB здатні продукувати псевдокаталазу), але не мають спорощення, не рухаються (за деякими винятками, деякі штами *Lactobacillus curvatus* рухливі), є недихаючими грампозитивними коками або паличками. LAB – усюдисуща бактеріальна група, зустрічається в середовищах багатих доступними вуглеводними субстратами, включаючи ніші ферментованих молочних продуктів, м'яса, сировини рослинного походження, порожнини людини і тварин (шлунково-кишковий і сечостатевої тракти).

Через відсутність функціональної дихальної системи LAB отримують енергію шляхом фосфорилування на рівні субстрату за двома основними шляхами ферментації гексози: гомоферментативним і гетероферментативним. Гомоферментативний шлях заснований на шляху Ембдена-Мейєрхофа-Парнаса,

молочна кислота виробляється практично як кінцевий продукт анаеробного метаболізму. Гетероферментативний шлях також відомий як пентозофосфокетотазний шлях або 6-фосфоглюконатний шлях. Кінцеві продукти включають не лише молочну кислоту, а й значні кількості CO_2 та етанол або ацетат.

Загальновідомо, що ріст і метаболічна активність LAB вимагають відповідного біохімічного та біофізичного середовища, хоча воно може відрізнятися в різних видів, навіть у різних штамів. Загалом біофізичні фактори навколишнього середовища включають pH, температуру, активність води та окисно-відновний потенціал. Що стосується біохімічних умов, культуральне середовище LAB зазвичай містить вуглеводи (джерело вуглецю), амінокислоти, пептиди, похідні нуклеїнових кислот, ефіри жирних кислот, мінерали та вітаміни. Мінерали відіграють ключову роль у мікробному рості та ферментативній активності. Загалом Mn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , K^+ і Na^+ є важливими іонами, необхідними LAB для транспортування поживних речовин і ферментативної активності.

Стосовно біозахисних культур, які використовуються в харчових продуктах, окрім ефективності проти грибків псування, вони повинні бути безпечними для споживання людиною. Вибрані біозахисні культури не повинні мати негативного впливу на якість харчових продуктів і здоров'я людини, проявляти та зберігати активність під час виробництва та зберігання харчових продуктів. Основні бажані вимоги до біозахисних культур у харчових продуктах включають:

- культури мають бути безпечними;
- залишатися активними при мінімально можливому інокуляті під час виробництва та розповсюдження продукту, щоб зменшити вартість;
- бути стійкими до антибіотика, ліофілізації або заморожування;
- не синтезувати будь-яких шкідливих для людини речовин наприклад таких, як біогенний амін;
- не впливати на сенсорні властивості продукту, такі як смак і текстура.

З давніх часів LAB широко використовуються у виробництві харчових продуктів завдяки їх здатності виробляти ефективні метаболіти, такі як молочна кислота, і синтезувати широкий спектр метаболітів, які позитивно впливають на поживні, сенсорні та технологічні властивості харчових продуктів. LAB знайшли широке застосування як закваски ферментованих харчових продуктів, пробіотики. Найважливіше те, що LAB вважаються перспективними біозахисними культурами проти небажаних мікроорганізмів у харчових продуктах, особливо у кисломолочних продуктах.

Слабкі органічні кислоти. Досі слабкі органічні кислоти вважаються основними кінцевими продуктами бродіння вуглеводного обміну БМК, до яких відносяться молочна кислота, оцтова кислота, пропіонова кислота, азелаїнова кислота, гідрокорична кислота, DL-фенілочна кислота, DL-гідроксифенілочна кислота, п-кумарова кислота, поліпорова кислота, 2-гідроксибензойна кислота, 4-гідроксибензойна кислота, ванільна кислота, кавова кислота, янтарна кислота, 2-піролідон-5-карбонова кислота тощо. Серед органічних кислот, що продукуються LAB, найкраще охарактеризованими та найефективнішими метаболітами, що продукуються LAB, є молочна та оцтова кислоти, які є біологічно активними у своїй протонованій формі при низькому рН; молочна та оцтова кислоти є найпоширенішими продуктами бродіння для *Lac. rhamnosus*. Вважається, що оцтова кислота має синергічний ефект з молочною кислотою щодо запобігання росту грибків. Інші органічні кислоти, отримані з LAB, також привертають увагу як протигрибкові засоби. 3-фенілочна кислота, що виробляється *Lp. plantarum* становила близько 0,05 мг/мл.

Передбачається, що протигрибковий механізм слабких органічних кислот діє на плазматичну мембрану. За даними, електрохімічний потенціал клітинної мембрани нейтралізується взаємодією з оцтовою кислотою та пропіоновою кислотою, після чого підвищується проникність клітинної мембрани, що зрештою призводить до загибелі чутливих організмів. Точніше кажучи, слабкі органічні кислоти знаходяться в рН-залежній рівновазі між недисоційованим і дисоційованим станом у розчині. При низькому рН органічні кислоти виявляють

оптимальну антимікробну активність, оскільки низький рН сприяє молекулі в незарядженій і недисоційованій формі, що полегшує вільну проникність органічних кислот через плазматичну мембрану та остаточне проникнення в клітину. Через вищий рН усередині клітини молекула буде дисоціювати, що призведе до вивільнення та накопичення аніонів і протонів, які не можуть дифундувати з клітини всередину. У цьому контексті передбачається, що антимікробна активність органічних кислот зумовлена стресом внутрішньоклітинного гомеостазу рН, руйнуванням мембрани, накопиченням токсичних аніонів та пригніченням основних метаболічних процесів реакції.

Жирні кислоти – це клас органічних кислот, які характеризуються наявністю карбоксильної групи ($-\text{COOH}$) на одному кінці та метильного ланцюга ($-\text{CH}_3$) на іншому. Деякі LAB можуть виробляти жирні кислоти, такі як 3-фенілпропіонова кислота, деканова кислота, 3-гідроксидеканова кислота та рицинолева кислота. 9,12-отадекадієнова кислота (*Z,Z*)-метиловий ефір, гексадеканова кислота та метиловий ефір були визначені як основні жирні кислоти, знайдені у н-гексанових фракціях *Lp. plantarum* і *Loigolactobacillus coryniformis subsp.* щиткоподібної (*Loig. coryniformis*), відповідно. Бактеріальне виробництво жирних кислот здатне покращити сенсорну якість ферментованих продуктів, а деякі з них також мають антимікробну дію.

Жирні кислоти проявляли різноманітну протигрибкову активність залежно від довжини ланцюга та наявності ненасичених зв'язків. Повідомлялося, що протигрибкова активність жирних кислот з коротким і середнім ланцюгом (C1-C12) зростає зі збільшенням довжини ланцюга.

На сьогоднішній день, хоча знання про антимікробний механізм жирних кислот обмежені, механізм дії, наприклад цис-9-гептадеценової кислоти, жирної кислоти, що виробляється *Pseudozyma flocculosa* проти кількох патогенних рослинних грибів, полягає в тому, що ліпідні подвійні шари грибових мембран розділяються кислотами, що призводить до збільшення текучості та проникності мембран, і в кінцевому підсумку призводить до цитоплазматичного розпаду клітин грибів.

Білкові сполуки. Протигрибкова активність деяких біозахисних культур знижується з додаванням протеолітичних ферментів, таких як трипсин, що вказує на те, що білкові сполуки беруть участь у протигрибковій активності. Білкові сполуки, що виробляються LAB, складаються з рибосомальних пептидів, таких як бактеріоцини, нерибосомальних пептидів і пептидів, отриманих шляхом ферментативного гідролізу білків. У порівнянні зі сполуками, описаними в попередніх дослідженнях, небагато дослідників звернули увагу на протигрибкову активність білкових сполук, що виробляються LAB.

Прикладом білкових сполук є бактеріоцини, які є невеликими катіонними, рибосомально синтезованими пептидами з антимікробними властивостями. Проте бактеріоцини, як правило, активні проти близькоспоріднених бактерій, і, таким чином, низка досліджень повідомляла про антибактеріальну активність бактеріоцинів, тоді як мало літератури вивчало протигрибкову активність.

Крім бактеріоцинів, протигрибкові пептиди виявляють широкий спектр інгібування проти грибків і, таким чином, мають великий потенціал для контролю грибків, що викликають псування ферментованих харчових продуктів.

Діацетил, ароматична сполука, відома як 2,3-бутандіон (полярний гідрофобний дикетон із відносно простою структурою $\text{CH}_3\text{--CO--CO--CH}_3$), відома своїм маслянистим ароматом і смаком. Діацетил міститься в багатьох молочних продуктах, таких як масло, йогурт, маргарин, сметана та деякі сири. Окрім молочних продуктів, діацетил також міститься в смаженій каві, червоному та білому вині, бренді та інших ферментованих харчових продуктах. Крім того, діацетил використовується як харчова добавка в харчових продуктах, таких як попкорн для мікрохвильової печі, через його безпечність. Управління з контролю за якістю харчових продуктів і медикаментів (FDA) США надало діацетил статус безпечного через безпеку впливу діацетилу на людину у ферментованих продуктах протягом століть. Деякі види LAB, включаючи *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacilli*, *Pediococcus* і *Oenococcus*, можуть виробляти діацетил. На виробництво діацетилу LAB можуть впливати різні фактори, такі як pH,

субстрати та температура. Продуктивність діацетилю на середовищі, що містить глюкозу та цитрат, удвічі вища, ніж у середовищі, що містить лише цитрат.

У харчових продуктах діацетил є не тільки бажаним ароматизатором, але й важливим антимікробним агентом. Протигрибкові властивості діацетилю проти плісняв, включаючи *Penicillium spp.* і *Fusarium spp.*, характеризуються інгібуванням, що спостерігається при концентраціях вище 86 мкг/мл. Діацетил має здатність пригнічувати ріст як грампозитивних, так і грамнегативних бактерій, таких як *Listeria*, *Salmonella*, *Escherichia coli*. Вважалося, що антибактеріальний механізм пов'язаний з перешкоджанням утилізації аргініну в периплазматичному просторі. Крім того, грамнегативні бактерії, дріжджі та цвіль виявляються більш чутливими до діацетилю, ніж грампозитивні бактерії.

Перекис водню. Виробництво перекису водню (H_2O_2) LAB запобігає росту мікроорганізмів, що псують продукти, і патогенних мікроорганізмів харчового походження. Він відіграє важливу роль у збереженні харчових продуктів, оскільки H_2O_2 підтверджений як безпечний для використання в харчовій промисловості. Згідно з попередньою роботою, ряд LAB здатні продукувати H_2O_2 у присутності кисню. H_2O_2 використовувався як антимікробний засіб протягом тривалого часу завдяки ефективності контролю або уповільнення росту небажаних мікроорганізмів у різноманітних харчових продуктах, включаючи сире молоко.

Температура також має вирішальне значення для антимікробної активності H_2O_2 . Перекис водню має слабку споридику дію при кімнатній температурі, але дуже потужну при вищих температурах.

Останніми роками зростає попит споживачів на хімічно чисті харчові продукти. LAB та їх біоактивні метаболіти вважаються природними хімічними замінниками консервантів для використання в якості біозахисних засобів у ферментованих молочних продуктах і для контролю грибкового псування та задоволення вимог споживачів і законодавства. Виробництво протигрибкових метаболітів і конкурентне їх використання можуть бути основними механізмами LAB для пригнічення росту грибів у харчових продуктах. Однак, незважаючи на

те, що численні дослідження повідомляють про протигрибкову ефективність культур LAB та біоактивних метаболітів у харчових продуктах, лише деякі культури LAB комерційно використовуються. Цілком імовірно, що деякі обмеження можуть перешкоджати комерціалізації протигрибкових культур LAB-кандидатів, оскільки не всі критерії біозахисних культур у харчових продуктах були повністю задоволені. Перше обмеження стосується питань безпеки. Оцінка безпеки та аналіз ризиків вибраних LAB-культур або їхніх протигрибкових метаболітів, які використовуються для консервування харчових продуктів, є ключовими моментами, пов'язаними з протигрибковою ефективністю та проблемами якості продукції. Тому вкрай важливо брати до уваги численні критерії та дотримуватися суворих процедур оцінки безпеки. Другим обмеженням, здається, є розрив між ефективною протигрибковою активністю в лабораторних середовищах (*in vitro*) і фактичною протигрибковою активністю в реальній харчовій матриці (*in situ*). Таким чином, важливо і необхідно провести провокаційний тест для оцінки фактичної протигрибкової активності потенційних біозахисних культур LAB у справжніх харчових продуктах.

Як зазначалося раніше, різні протигрибкові сполуки можуть вироблятися культурами LAB, що вважається основним протигрибковим механізмом. Згідно з попередніми дослідженнями, було ідентифіковано ряд біологічно активних сполук, які, ймовірно, проявляють синергетичну або адитивну біоактивність. У цьому контексті ідентифікація нових антимікробних сполук, які знаходяться в низьких кількостях, є складною в полікомпонентних харчових матрицях, таких як йогурт. Крім того, ряд низькомолекулярних сполук з антимікробною дією можуть залишитися неідентифікованими через відсутність ефективної технології. Таким чином, слід розглянути розробку нових підходів чутливого виявлення для ідентифікації низькомолекулярних сполук у харчових продуктах. Крім того, комбінації LAB-культур або протигрибкових сполук слід додатково досліджувати, розуміючи синергічний або адитивний ефект. Ці комбінації

можуть бути використані як нові біоконсерванти для продовження терміну зберігання їжі.

2.13. Пробиотики

Пробиотик – це відносно новий термін, який означає «на все життя», і він стосується бактерій, які, як виявилось, сприятливо впливають на людей і тварин. Молоко та молочні продукти, зокрема кисломолочні продукти, вважаються чудовими носіями пробіотичних штамів, що дозволяє максимально виразити їх оздоровчу функцію. Пробиотичні мікроорганізми можна концентрувати і додавати в невеликих кількостях безпосередньо в їжу або молочний продукт, де вони можуть рости. Йогурт є добре відомим прикладом багатой пробіотиками функціональної молочної їжі. Пробиотичний йогурт, також відомий як біо-йогурт, повинен містити живі бактеріальні культури. Пробиотики використовували для лікування кишкових розладів як дієтичні добавки та пероральні засоби. Нещодавно пробиотики стали одними з найцінніших компонентів, завдяки їхній здатності проявляти безліч нових, корисних для здоров'я функцій, які є специфічними для штаму. Імуномодуляція, відновлення балансу порушеної кишкової флори, зміцнення бар'єрної функції слизової оболонки та запобігання непереносимості лактози є найбільш помітними пробіотичними функціями. Проте на даний момент увага зосереджена на дослідженні пробіотиків як потенційних біотерапевтичних засобів для лікування хронічних запальних метаболічних розладів, таких як діабет, ожиріння, та багато інших.

2.14. Майбутнє застосування біотехнології в молочній промисловості

У минулому біотехнологія зробила значний внесок у молочний сектор, від генетичного вдосконалення тварин до переробки молочних продуктів. Світове виробництво та споживання молочної продукції значно зросли за останні три десятиліття, дослідники та аналітики тенденцій стверджують, що це зростання триватиме протягом наступних кількох десятиліть. Однак у деяких країнах, особливо в ЄС, кількість корів зменшується в останні роки через екологічні

фактори, добробут тварин та інші причини. З іншого боку, винайдено та впроваджено ряд технологій для підтримки інтенсифікації молочних ферм. Сучасні технології, такі як автоматичні доїльні машини, датчики, блокчейн і автоматичні годівниці, можуть значно покращити виробництво молока, екологічну стійкість і добробут тварин у технологічному процесі їх утримання. Так само були розроблені складні технології переробки молока, які відіграватимуть визначну роль у виробництві молочних продуктів, що є корисними та придатними для споживання людиною. Крім того, новітні технології переробки мають великий потенціал для скорочення викидів парникових газів під час виробництва, обробки та зберігання. Останнім часом розробляються нові біотехнологічні продукти для використання як у тваринництві, так і в харчовій промисловості, біоконсервації молочних продуктів, маніпуляції та синтезі пробіотиків, виробництві ферментів, біоактивних пептидів, отриманих з молока, виробництві інших функціональних компонентів, а також технології стартових культур і генетичних маніпуляцій. Таким чином, передові технології мають бути більш доступними для фермерів у всьому світі, особливо для фермерів у країнах, що розвиваються, щоб підвищити виробництво молока, зменшити викиди парникових газів і прогнати зростаюче населення.

Питання для самоконтролю

1. З яких складових складаються сучасні інноваційні напрямки у молочному виробництві?
2. У чому полягає принцип обробки молочних продуктів під високим тиском (HPP)?
3. Які позитивні ефекти визначено в наслідок обробки молочних продуктів під високим тиском (HPP)?
4. Яким чином імпульсні електричні (PEF) поля впливають на якість молочної продукції?

5. В якому діапазоні звукових хвиль запроваджують ультразвук у молочному виробництві?
6. Які механізми дії ультразвуку відомі у практичній діяльності його застосування у молочному виробництві?
7. Чи є ультразвук «зеленою» технологією і чому?
8. Що таке холодна плазма і в чому полягає її дія на молочні продукти?
9. Чим відрізняються фотохімічна і фототермічна дії УФ-випромінення?
10. У чому полягають принципи опромінення?
11. Що представляє собою електронний промінь, його дія на молочні продукти?
12. Яку назву мають два потоки поділу рідини за допомогою напівпроникної мембрани?
13. З якого матеріалу виготовляють мембрани у молочній промисловості?
14. Які переваги над іншими мають процеси ультрафільтрації молочних продуктів?
15. У чому полягає сутність мікрофільтрації, нанофільтрації та зворотного осмосу?
16. Які можливості відкриває сучасна біотехнологія у молочній промисловості?
17. Що таке біоконсервація, її призначення у переробці молока?
18. Яким чином молочно-кисле бродіння сприяє процесу консервації молочних продуктів?
19. У чому полягає користь ентерококів для збереження молочних продуктів?
20. Що собою представляють про- і пребіотики, їх роль у молочному виробництві?

Рекомендована навчальна література

1. Грек О.В., Красуля О.О. Молокопереробка. Інновації : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2017. 390 с.
2. Іванов С.В., Грек О.В., Осьмак Т.Г. Молокопереробка. Промисловий інжиніринг : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2017. 275 с.
3. Власенко В.В., Головка М.П., Семко Т.В., Головка Т.М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.

4. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
5. Кузьмін Є.С. Ефективність інвестицій підприємств молочної промисловості : монографія. Київ : ІАЕ, 2015. 254 с.
6. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О.В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. Режим доступу: <http://library.nuft.edu.ua>
7. Кочубей-Литвиненко О.В., Ющенко Н.М. Технологія отримання та первинного оброблення молока : підручник. Київ : НУХТ, 2013. 211 с.
8. Грек О.В., Ющенко Н.М., Осьмак Т.Г. та ін. Практикум з технології молока та молочних продуктів : навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2015. 431 с.
9. Перцевий Ф.В., Терешкін О.Г., Гурський П.В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
10. Скорченко Т.А., Грек О.В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2012. 330 с.
11. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2013. 502 с.
12. Цехмістренко С.І., Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.

Розділ 3. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЙОГУРТУ

3.1. Традиції та інновації в йогурті з функціональної точки зору

Йогурт є одним із найбільш споживаних і досліджуваних молочних продуктів із доведеною функціональною дією на організм людини. У цьому розділі розглядаються функціональні властивості традиційних йогуртових продуктів у порівнянні з різними іншими йогуртами, збагаченими природними біоактивними сполуками, такими як продукти бджільництва, ароматичні рослини, фрукти, овочі, екстракти, їстівні квіти, гриби та інгредієнти з високим вмістом білка. Харчова промисловість прагне покращити поживний профіль кінцевих продуктів, визнаючи потенційну цінність, яку вони приносять. Йогурт, визнаний функціональною їжею, привернув значну увагу в усьому світі з точки зору виробництва та споживання. Додавання ароматизаторів за допомогою есенцій, фруктів, фруктових екстрактів і меду вважається кращою альтернативою штучним ароматизаторам для створення нових молочних продуктів. Синтез широкого спектру наукових даних показує, що більшість функціональних йогуртів містять в своєму складі продукти бджільництва. Останніми роками в молочній промисловості спостерігається зростання поєднання пробіотиків і функціональних продуктів харчування, особливо це пов'язано з розробкою пробіотичних функціональних йогуртів.

Йогурт, популярний у багатьох країнах, є продуктом з глибокою культурною та історичною традицією. Століттями ферментація слугувала методом збільшення терміну зберігання швидкопсувних продуктів, одночасно покращуючи смак і аромат кінцевого продукту. Йогурт є результатом ферментації пастеризованого або стерилізованого молока з використанням протосимбіотичних культур *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* і *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Виробництво йогурту в промислових масштабах залежить від багатьох факторів, таких як типи та кількість

використовуваних заквасок, сировини, сорту молока, а також таких параметрів, як температура, тиск та інші аспекти.

Збагачення передбачає додавання біоактивних компонентів, поживних або непоживних речовин, харчових інгредієнтів або добавок. Ця практика служить декільком цілям, включаючи вирішення або запобігання широко поширеним недолікам споживання поживних речовин, збалансування загального профілю поживних речовин у раціоні, відновлення речовин, втрачених під час обробки та інше. Йогурт, зокрема, виділяється підвищеною концентрацією кількох компонентів, таких як рибофлавін, вітаміни B₆ і B₁₂, кальцій, калій, цинк та магній, знайдених в молоці.

У сучасну епоху існує тенденція включення різних харчових елементів у харчові продукти для посилення їх оздоровчих властивостей. Прикладом цього є функціональний пробіотичний йогурт. Харчові продукти, які виходять за межі основного поживного вмісту та роблять позитивний вплив на фізіологічні функції, сприяючи покращенню здоров'я або зниженню ризику захворювання, підпадають під категорію функціональних харчових продуктів. Отже, функціональні харчові продукти не тільки містять багаті поживними речовинами інгредієнти, але також можуть бути збагачені вітамінами, мінералами, пробіотиками, пребіотиками та клітковиною для подальшого посилення їх користі для здоров'я.

Функціональні харчові продукти характеризуються штучною модифікацією концентрацій в одному або кількох інгредієнтах для посилення їх позитивного впливу на організм людини, шляхом здорового харчування. Ці харчові продукти, натуральні чи оброблені, повинні включати біологічно активні сполуки, які, як було доведено, забезпечують користь для здоров'я. Спочатку пробіотик описувався як жива мікробна харчова добавка, здатна позитивно впливати на організм господаря, покращуючи мікробний баланс його кишківника. Однак згодом з'явилося переформулювання цього поняття, яке визначає пробіотики як «живі мікроорганізми, які при введенні в адекватних кількостях і регулярному споживанні приносять користь здоров'ю споживача».

У відповідь на розвиток цього розуміння харчова промисловість виявила зростаючий інтерес до розробки та маркетингу інноваційних молочних продуктів, що містять пробіотичні мікроорганізми з потенційною користю для здоров'я людини. У минулому широко використовувалися такі функціональні сполуки, як фрукти, частини рослин, їстівні квіти, насіння та продукти бджільництва. Проте сучасна тенденція полягає у дослідженні більш нетрадиційних функціональних сполук, таких як мікрододородості, гриби, екзотичні фрукти та спеції, щоб підвищити функціональну цінність продуктів. Крім того, зростає інтерес до продуктів з високим вмістом білка, оскільки люди все більше підтримують здоровий спосіб життя, орієнтований на спорт і збалансоване харчування. Особливо велике використання продуктів бджільництва у збагачених йогуртах. Були проведені різні дослідження, щоб підкреслити, як ці інгредієнти впливають на йогурт як кінцевий продукт із функціональними властивостями в різних регіонах світу.

Пошкодження в результаті окислювального стресу може сприяти розвитку захворювань людини, таких як серцево-судинні захворювання, рак і старіння. Антиоксиданти відіграють вирішальну роль у профілактиці та лікуванні цих хронічних захворювань. Функціональні харчові продукти, багаті фітохімічними речовинами, діють як біоактивні фармацевтичні препарати з позитивним впливом на органи. Фітохімічні речовини, синтезовані рослинами, зазвичай містяться у фруктах, овочах, зернових, бобах та інших джерелах рослинного походження, включаючи дубильні речовини, алкалоїди, стероїди, сапоніни, флавоноїди та різні інші групи. Серед приблизно 10 000 фітохімічних речовин ті, що володіють антиоксидантною активністю, включаючи фенольні речовини, каротиноїди, флавоноїди та такі сполуки, як вітамін С, запобігають хронічним захворюванням шляхом зменшення активних форм кисню та азоту, тим самим захищаючи органи та клітини від пошкодження.

Флавоноїди – 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. Найвідоміші у фітотерапії флавоноїди: рутин, гесперидин, гіперозид, кверцетин, кемпферол та апігенін.

Дослідження, що тривають, спрямовані на з'ясування нюансів прогресу в інноваціях у сфері кисломолочних продуктів, заглиблюючись у їх багатогранну еволюцію з різних наукових і промислових точок зору. Тому, визнаючи цю споживчу тенденцію, важливо висвітлити класичні функціональні сполуки, які вже використовуються в промислових масштабах, і нові тенденції, які ще не досягли промислових масштабів, але мають справжній потенціал. У цьому матеріалі розглядаються як традиційні аспекти йогурту, так і сучасні інновації. На додаток до своєї традиційної форми, збагачений йогурт виділяється завдяки покращенню поживних властивостей, а також містить додаткові мікроелементи для задоволення конкретних дієтичних потреб. Також вивчається поява функціонального йогурту, тривають дослідження потенційних переваг для здоров'я, пов'язаних із біоактивними сполуками та пробіотиками.

3.2. Джерела йогурту

3.2.1. Йогурт з коров'ячого молока

Коров'яче молоко є основним джерелом для виробництва йогурту завдяки його багатому профілю поживних речовин, включаючи білки, лактозу, жири, кальцій, фосфор і вітаміни. Коров'яче молоко має ряд переваг для здоров'я, сприяючи здоров'ю кісток, росту м'язів і загальному споживанню поживних речовин. Незважаючи на ці переваги, високий вміст жиру в коров'ячому молоці, особливо насичених жирів, потребує коригування для певних груп населення, таких як люди з ожирінням або гіпертонією. З одного боку, надмірне споживання жиру пов'язане з такими хронічними захворюваннями, як ожиріння, артеріосклероз, ішемічна хвороба серця, високий кров'яний тиск і деякі види раку. Виробництво йогурту з низьким вмістом жиру, незважаючи на складність через проблеми з текстурою, пропонує значний ринковий потенціал, оскільки споживачі шукають більш здорові варіанти. Щоб компенсувати втрату жиру та

зберегти якість йогурту, використовуються різні замітники жиру та стабілізатори, включаючи інулін та камедь. Нещодавні дослідження показали, що замітники на основі гелю, такі як камедь із насіння базиліка, які надають жироподобні властивості з точки зору утримання води та сенсорних характеристик. Частинки гелю емульсії сироваткового протеїну, отримані з рослинної олії, можна використовувати в йогурті з низьким вмістом жиру для заміни жиру та усунення текстурних і сенсорних недоліків, пов'язаних зі зменшенням жиру. Ці частинки демонструють покращену консистенцію, твердість, в'язкість і стійкість до стресу, що призводить до сенсорного сприйняття, порівнянного з високожирним йогуртом. Іншою природною гелеутворюючою речовиною є слиз насіння чіа, який має корисні властивості для виробництва йогурту. З іншого боку, нещодавні дослідження також підкреслили, що молочні жири містять біологічно активні сполуки, такі як полярні ліпіди, які можуть мати нейтральний або захисний вплив на серцево-судинні захворювання, гіпертонію та інші хронічні захворювання. Ці висновки призвели до перегляду традиційних рекомендацій щодо нежирних молочних продуктів. Хоча йогурт із низьким вмістом жиру залишається популярним серед споживачів, які свідомо зменшують споживання жиру заради здорового харчування, нові дані свідчать про те, що молочні продукти також можуть приносити користь здоров'ю. Це підкреслює необхідність подальших досліджень впливу різних типів йогуртів на здоров'я та вмісту в них жиру, потенційно розширюючи ринок як знежирених, так і повножирних йогуртових продуктів.

3.2.2. Йогурт з козячого молока

Відбувся значний прогрес у виробництві йогурту, особливо з альтернативних джерел молока, наприклад, козячого. Йогурт із козячого молока набирає популярності завдяки своїм поживним перевагам і зростаючій частці ринку, яка, за прогнозами, досягне 11,4 мільярдів доларів США до 2026 року із загальним річним темпом зростання 3,8% з 2019 по 2026 рік. Вміст білка, жиру і лактози в козячому молоці можна порівняти з коров'ячим. Однак козяче молоко

має нижчу гіперчутливість і вищу засвоюваність, ніж коров'яче, через відмінності в амінокислотному складі, фізико-хімічних властивостях казеїнових міцел, полімеризації між білками та ліпідами, малих жирових кульках і довжині ланцюга жирних кислот. Незважаючи на ці переваги, йогурт із козячого молока загалом менш прийнятний, ніж йогурт із коров'ячого молока, через наявність певних жирних кислот, таких як капронова, каприлова та капринова кислоти, які сприяють виразному та часто менш бажаному смаку. Крім того, низький рівень α -s1-казеїну в козячому молоці призводить до слабшого гелю та нижчої в'язкості. Щоб усунути ці недоліки, використовуються такі технічні рішення, як зміна формули молочного продукту шляхом додавання нових компонентів. Пробиотична ферментація може покращити сенсорні властивості, такі як аромат, смак і в'язкість, тоді як присутність живих мікроорганізмів може додати більшу функціональну цінність похідним козячого молока. Наприклад, дослідження показали, що *Limosilactobacillus mucosae* може покращити мікробні, фізичні, хімічні та сенсорні аспекти грецького йогурту з козячого молока.

Для покращення сенсорних властивостей йогурту з козячого молока були розроблені нові технології бродіння та закваски. Один з інноваційних підходів передбачає використання концентрації випаровування за допомогою вакууму в поєднанні з гомогенізацією під високим тиском, яка покращує фізико-хімічні, сенсорні характеристики та перетравлення *in vitro* ферментованого козячого молока. Цей метод допомагає створити більш бажану текстуру та профіль смаку, вирішуючи деякі загальні проблеми, пов'язані з виробництвом йогурту з козячого молока.

Ці досягнення демонструють потенціал для покращення якості продукції та сприйняття споживачами йогурту, виготовленого з альтернативних джерел молока. Було показано, що додавання фруктових, овочевих або рослинних екстрактів ефективно маскує смак козячого молока, покращує в'язкість і сенсорні властивості, а також сприяє підвищенню вмісту поживних речовин.

3.2.3. Йогурт з верблюжого молока

Верблюже молоко, багате на мононенасичені та поліненасичені жирні кислоти, пропонує ряд переваг для здоров'я, включаючи посилену підтримку імунітету, придатність для осіб з непереносимістю лактози та потенційну користь у захисті від діабету. Верблюже молоко містить високі концентрації антибактеріальних білків і білків, що підтримують імунітет, має багатий вміст заліза та інсуліну. Однак наявним є нижче співвідношення казеїну та сироваткового білка, порівняно з коров'ячим молоком, що впливає на стійкість коагуляції та ускладнює утворення м'якого гелю під час процесу бродіння, що призводить до менш вираженого смаку. Щоб вирішити ці проблеми, стабілізатори, такі як кукурудзяний крохмаль або модифікований крохмаль і хлорид кальцію, додають до верблюжого йогурту для підвищення в'язкості, покращення ефективності гелю та покращення сенсорних властивостей. Слід відмітити, що використання трансглютамінази може покращити структуру верблюжого йогурту.

3.2.4. Йогурт з ослиного молока

Ослине молоко, подібне до людського, має низький алергенний потенціал, але потребує загусників для покращення консистенції та в'язкості йогурту. В ослиному молоці низький вміст білка та жиру, що створює проблеми з виходом, консистенцією та в'язкістю йогурту. Щоб вирішити цю проблему, можна додати відповідні загусники, такі як фруктові та овочеві волокна. Наприклад, клітковина маракуйї може збільшити видиму в'язкість йогурту з ослиного молока, покращуючи його текстуру та сенсорні властивості.

3.2.5. Йогурт на рослинній основі

Рослинна дієта визнана вирішальною для стійкості глобальної продовольчої системи, особливо з огляду на зростання населення планети та

зростання попиту на м'ясні та молочні продукти. Зменшення споживання м'яса та молочних продуктів має важливе значення для покращення навколишнього середовища та клімату, збереження земельних і водних ресурсів, скорочення викидів парникових газів і покращення здоров'я людини. Споживачі все більше усвідомлюють аспекти здорового харчування та свого вибору корисної їжі, що призводить до появи різноманітних заміників м'яса та молока, які відповідають різноманітним харчовим звичкам і релігійним уподобанням, включаючи непереносимість лактози та вегетаріанство.

3.2.6. Види йогуртів на рослинній основі

Йогурти на рослинній основі можна отримати з різних джерел, таких як бобові, злаки, горіхи та фрукти. Незважаючи на схожість з молочним йогуртом за смаком, консистенцією та харчовим профілем, йогурти на рослинній основі часто стикаються з проблемами в досягненні бажаних сенсорних характеристик. Можуть виникнути такі проблеми, як небажаний смак (наприклад, кислий, солодкий, гіркий) і властивості текстури (наприклад, водянистий, рідкий, поділ фракцій). Однак часта потреба в штучних підсолоджувачах, загусниках і стабілізаторах для покращення сенсорних властивостей може не відповідати споживчим уподобанням щодо хімічно чистих і корисних продуктів. Окислення білка є ще однією серйозною проблемою для йогурту протягом терміну придатності, оскільки це може негативно вплинути на якість продукту та харчову цінність.

Незважаючи на додавання фруктового пюре, яке посилює антиоксидантну активність, окислення білка постійно зростає з часом, що підкреслює необхідність стратегій пом'якшення цього ефекту. Боротьба з окисленням білка має важливе значення для підтримки якості й корисних властивостей йогурту, що свідчить про необхідність подальших досліджень для розробки ефективних антиоксидантних рецептур або методів обробки для збереження цілісності білків у йогуртових продуктах. Було показано, що додавання канабісу в соєвий йогурт

зменшує випадання сироватки в осад і покращує реологію та текстуру. Незважаючи на розробку йогуртів на рослинній основі з покращеними сенсорними якостями, загальна сенсорна якість залишається низькою. Це може бути однією з основних причин, чому вони мають відносно невелику частку ринку. Щоб вирішити цю проблему, необхідні детальні методи сенсорної оцінки, щоб керувати розробкою продукту.

Сучасні дослідження зосереджені в основному на гедонічних реакціях і вподобаннях споживачів, але слід включити додаткові показники, такі як оцінка смакової задоволеності та вплив продукту на смак. Крім того, вони часто потребують збагачення, щоб відповідати поживному профілю традиційних йогуртів на основі молока, які природно багаті основними поживними речовинами. Основні поживні речовини, які, можливо, необхідно додати, включають білки, кальцій, вітамін B₁₂ і вітамін D. Незважаючи на ці проблеми, вдосконалення технологій виробництва продовжує підвищувати сенсорну та поживну якість йогуртів на рослинній основі. Наприклад, покращення процесів бродіння мало вирішальне значення. Крім того, ключову роль у цьому прогресі відіграє використання нових інгредієнтів. Наприклад, додавання нейтрального екстракту насіння люпину як замітника жиру або покращувача текстури в йогурти з низьким вмістом жиру, що не тільки збільшує вміст твердих речовин і в'язкість, але й не впливає негативно на колір йогурту. Ці модифікації сприяють більш задовільному сенсорному досвіду та можуть покращити харчові профілі, надаючи додатковий білок і клітковину.

Оскільки споживчий попит на рослинні альтернативи зростає, постійні дослідження та інновації в технології інгредієнтів є ключовими. Такі інгредієнти, як фрукти та овочі, все частіше додаються до йогуртів, покращуючи як якість, так і корисність продукту. Додавання цих інгредієнтів вносить в йогурт основні поживні речовини та біоактивні фітохімічні речовини, які покращують антиоксидантну активність, сприяють покращенню здоров'я кишківника та потенційно знижують ризик хронічних захворювань. Ця синергія між перевагами традиційного йогурту та покращеними властивостями, завдяки

новим інгредієнтам, є прикладом потенціалу галузі для подальшого розвитку. Йогурт можна збагачувати різноманітними фруктами, екстрактами плодових кісточок, харчовими рослинними оліями та овочами для покращення його якості та позитивного впливу на здоров'я. Так само було встановлено, що виноград Ізабель покращує антиоксидантну здатність, сенсорне сприйняття та переваги споживачів.

Дослідження йогуртів на рослинній основі є багатообіцяючою, але складною сферою. Незважаючи на те, що було досягнуто значних успіхів у покращенні їх сенсорних і поживних якостей, залишається кілька прогалин. Вирішення цих проблем за допомогою інтегрованих, орієнтованих на споживача підходів може прокласти шлях для йогуртів на рослинній основі до досягнення більш широкого визнання на ринку та запропонувати значні переваги для здоров'я. Вони, разом з іншими продуктами рослинного походження, мають потенціал для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, пов'язаного із сільським господарством, переробкою тварин і викидами парникових газів. Цей аспект екологічної стійкості забезпечує додаткову перевагу, яка може спонукати споживачів вибирати та споживати ці продукти.

3.3. Промисловий процес приготування йогурту

Виробництво йогурту починається з доїння ссавців, після чого слідує серія ретельно виконаних процедур, які закінчуються пакуванням отриманого йогуртового продукту. Фаза попередньої обробки передбачає маніпуляції зі складом молока перед обробкою. У виробництві йогурту ця маніпуляція може включати внесення сухих речовин молока для досягнення певної в'язкості. Процес попередньої обробки включає регулювання вмісту жиру в молоці. Це передбачає стандартизацію молока за допомогою різних методів, таких як виділення частини вмісту жиру, змішування незбираного молока зі знежиреним молоком, додавання вершків у знежирене молоко або використання комбінації цих методів за допомогою стандартизаційних центрифуг. Гомогенізація є

наступним кроком у процесі отримання йогурту, яка впливає на хімічні та фізичні аспекти молока. У цьому процесі великі жирові кульки діляться на менші. Метою цього процесу є запобігання відокремленню шару вершків і забезпечення рівномірного змішування будь-яких молочних інгредієнтів, доданих до молока.

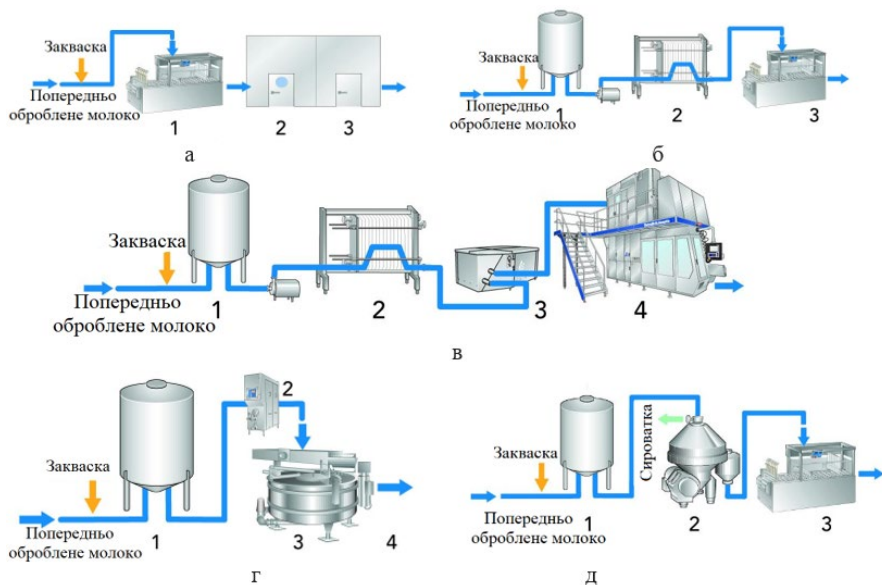


Рис. 20. Варіанти виготовлення різних видів йогурту [23]:

а) термостатний йогурт (1–наповнювач стаканчиків, 2–камера ферментації, 3–камера швидкого охолодження); б) йогурт із порушеним згустком (1–танк ферментації, 2–охолоджувач, 3–наповнювач стаканчиків); в) питний йогурт (1–танк ферментації, 2–охолоджувач, 2–гомогенізатор, 3–фасувальна машина, 4–тунельна загартівна камера); г) заморожений йогурт (1–танк ферментації, 2–морозильний апарат безперервної дії, 3–морозильний апарат для брикетів морозива, 4–тунельна загартівна камера); д) концентрований йогурт (1–танк ферментації, 2–сепаратор або мембранний фільтр, 3–наповнювач стаканчиків)

Традиційні методи термічної обробки охоплюють термалізацію, низькотемпературну та високотемпературну пастеризацію, ультратеплову обробку та стерилізацію. Застосування термічної обробки молока впливає на його смак, мікробний склад і молочні білки. Ступінь інтенсивності термообробки

корелює з величиною змін. Крім того, термічна обробка впливає на текстуру отриманого йогурту, збільшуючи значення його текстурних властивостей і в'язкості. Після термічної обробки молоко проходить охолодження, щоб досягти заданої температури інокуляції, яка зазвичай коливається від 40 до 45 °C, перед введенням закваски. Класична закваска для йогурту являє собою суміш *Streptococcus thermophilus* і *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, із співвідношенням зазвичай 1:1.

На якість кінцевого продукту можуть впливати умови під час інкубації. Загалом, термофільні молочнокислі бактерії демонструють оптимальний діапазон температур від 40 до 43 °C. Консенсус полягає в тому, що нижчі температури бродіння подовжують час, необхідний для досягнення певного pH. Після досягнення pH 4,3–4,7 йогурт охолоджують приблизно до 5°C, щоб придушити ріст і метаболічну активність закваски, запобігаючи подальшому підвищенню кислотності. Охолодження може відбуватися в одну або дві фази. Однофазне охолодження передбачає швидке охолодження до температури нижче 10°C, у результаті чого йогурт має низьку в'язкість. Двофазне охолодження передбачає швидке зниження до температури нижче 20°C з подальшим поступовим зниженням температури зберігання до 5°C, у результаті чого виходить йогурт із підвищеною в'язкістю та обмеженим синерезисом, що є загальноприйнятою практикою, особливо коли фрукти додаються у процесі виробництва.

Сучасна молочна наука та дієтологія запропонували залучення пробіотичних культур та пребіотичних інгредієнтів для підвищення харчової цінності молочних продуктів, мінімізуючи при цьому шкідливий вплив на сенсорні характеристики.

Детальна процедура описує виробництво трьох типів йогурту: йогурт із затвердінням, змішаний йогурт і питний йогурт. Ці етапи висвітлюють варіації у виробництві, від традиційного йогурту до більш рідкого змішаного йогурту, і, нарешті, рідкого питного йогурту, збагаченого стабілізаторами, цукрами та

ароматизаторами. На технологічному рівні були інновації, однак основна увага була приділена додаванню біоактивних речовин.

Споживачі мають різноманітні варіанти смаку відповідно до своїх уподобань, включаючи традиційні фруктові смаки, такі як полуниця та чорниця. В даний час полуниця виділяється як найпопулярніший смак на ринку. У відповідь на зростаючий попит на здорове харчування, виробники виробляють нежирні та знежирені версії своїх найбільш популярних продуктів. Ринок функціональних продуктів харчування, особливо в сегменті йогуртів, зазнав значного зростання в останні десятиліття, в основному завдяки бездоганній інтеграції пре- та пробіотиків. Однак було виявлено, що додавання пребіотиків до йогурту негативно впливає на його сенсорні характеристики, що може відштовхнути споживачів. Незважаючи на свою популярність, йогурт все ще має відносно короткий термін зберігання порівняно з іншими ферментованими продуктами. Щоб усунути це обмеження, розглядаються нові технології виробництва, такі як «зроблено в дорозі» як засіб продовження терміну придатності йогурту.

3.4. Функціональні інгредієнти та їх біологічна активність.

3.4.1. Інгредієнти, що використовуються для підвищення функціональних властивостей йогуртів

Натуральні функціональні інгредієнти, включаючи продукти бджільництва (мед, прополіс, пилок і маточне молочко), фрукти (полуниця, банан, чорниця, аронія, папайя, манго, кавун, диня, ківі та яблуко) і гібіскус, відомі своїми великими запасами біологічно активних сполук з потенційною користю для здоров'я. Ці інгредієнти вже є цінними компонентами для збагачення їжі та розробки функціональних харчових продуктів. Далі буде надано інформацію про біологічно активний потенціал найпоширеніших інгредієнтів, які використовуються в йогурті, як-от мед та інші продукти бджільництва, маніок, диня, інгредієнти з високим вмістом білка, такі як кіноа, вешенка, борошно з нуту, спіруліна, моринга, і останні тенденції

функціональних інгредієнтів: алое вера, чайний гриб, *Auricularia auricula*, шафран, куркума, гриби, мускатний горіх, окара, олія кмину, борошно зеленого банана, ріжкове дерево, кава та *Artemisia absinthium* L.

Фрукти. Подібно до йогурту, фрукти вже давно визнані цінним поживним ресурсом, пов'язаним із різними перевагами для здоров'я. Поєднання цих поживних елементів, інтеграція фруктів і йогурту може призвести до дуже поживного харчового продукту. Крім того, існує припущення, що рослинна їжа має здатність впливати на мікробіоту, подібно до ефектів пробіотиків і пребіотиків, тим самим покращуючи здоров'я серцево-судинної системи. Фрукти багаті численними сполуками, які позитивно впливають на здоров'я людини, слугуючи чудовим джерелом харчових волокон, антиоксидантів, фенольних сполук і каротиноїдів, як повідомляється в науковій літературі. Досліджено виробництво збагаченого йогурту шляхом додавання в нього м'якоти або екстрактів різних фруктів, винограду і ягід, папайї та кактусової груші, яблучних вичавок та обліпихи, поєднання апельсина, ананаса, винограду, банана та фініку істівного (*Phoenix dactylifera* L.) з гранатом.

Додавання фруктових ароматизаторів у йогурт – процес із нюансами. Окрім покращення поживного профілю йогурту, ці зміни також мають значний вплив на різні фізичні та хімічні властивості, включаючи текстуру, рН, кислотність, синерезис і водоутримувальну здатність. Крім того, стабільність йогурту може бути збільшена або зменшена порівняно зі звичайним йогуртом. Величина цих змін залежить від концентрації використаного фруктового ароматизатора. Наприклад, додавання 15% кактусової груші призвело до підвищення кислотності йогурту протягом 5-денного періоду зберігання разом із збільшенням його водоутримуючої здатності. Навпаки, синерезис зменшився в йогурті з 15% кактусової груші порівняно зі звичайним йогуртом. Подібним чином досліджено додавання яблучних вичавок до йогурту в різних концентраціях.

Банан є одним із найбільш споживаних фруктів у всьому світі, багатий поживними речовинами та різноманітними мінералами. Він демонструє

підвищені концентрації кальцію, магнію та калію, а також низку антиоксидантів, включаючи вітаміни А, С та Е. На додаток до мінеральних речовин, плоди банана багаті амілозою, крохмалем і харчовими волокнами, які служать джерелом білків. Примітно, що банани також містять значну кількість β -каротину, лікопіну та фенолів, усі з яких мають вирішальне значення для здоров'я людини. Тим не менш, альтернативні форми бананових продуктів, такі як м'якоть, порошок і борошно, також використовуються для приготування йогурту, що дає різноманітні результати в кінцевому продукті. Наприклад, використовували **бананове пюре** у виробництві пробіотичного йогурту і вивчали його вплив на кислотність, рН, кількість бактерій і сенсорні властивості при різних термінах зберігання. Кількість бактерій пробіотиків зменшувалася протягом періоду зберігання 7 днів, тоді як кількість цвілі та дріжджів з часом збільшувалася.

У більшості експериментів з використанням **яблук** у виробництві йогурту переважно використовують яблучні вичавки через їх поживні властивості та той факт, що їх часто викидають як відходи. Отже, щоб перепрофілювати відходи та використати поживні властивості, експерименти були зосереджені на використанні вичавок та їх похідних. Широке застосування **яблучних вичавок** у молочній промисловості пояснюється їх стабілізуючими властивостями та роллю текстуранта. Включення порошку яблучних вичавок призвело до підвищеної зв'язності та твердості йогурту. Дослідження показало, що введення порошку яблучних вичавок посилює структуру казеїнового гелю. Примітно, що цей ефект був значним при 1% концентрації порошку яблучних вичавок, тоді як він не спостерігався при 0,5% концентрації. Це явище гелеутворюючих властивостей частинок яблучних вичавок сприяло формуванню однорідної структури гелю в йогурті.

Йогурт зі смаком полуниці є переважаючим вибором серед споживачів, що становить приблизно 70–80% продажів, наприклад, у Бразилії. Незважаючи на те, що полуниця міститься в йогурті в невеликих кількостях, в її складі є незамінні жирні кислоти, в тому числі ненасичені, як підтверджено Міністерством сільського господарства США в 2010 році. Крім того, полуниця є

джерелом марганцю: порція 144 г забезпечує понад 20% рекомендованої добової норми для цього мінералу. Крім того, така ж кількість забезпечує приблизно 5% рекомендованої добової норми калію. Склад зразка демонструє делікатний баланс: рівні вологості м'яко коливаються, тоді як вміст жиру дещо знижується. Зольність і кислотність поступово знижуються, що свідчить про гармонійний розвиток. Загальна кількість твердих частинок у своїй стійкій консистенції сприяє стабільності серед комплексу компонентів. Рівні pH вказують на відтінки кислотності, надаючи витонченість смаку кінцевому продукту.

Канталупа має терапевтичний ефект, який становить великий інтерес для розробки функціональних харчових продуктів, таких як йогурт.

Канталуп – рослина родини гарбузових, підвид дині.

Дині (*Cucumis melo* L.) належать до виду рослин сімейства гарбузових, які поділяються на ботанічні групи, серед яких сорт *Reticulatus* вважається благородним через його якісніші плоди з характерним ароматом і смаком. Диня канталупа – це псевдоягода, багата біологічно активними сполуками, які сприяють зміцненню здоров'я. Окрім вмісту фенольних сполук, вона вважається джерелом β -каротину, який сприяє помаранчевому забарвленню м'якоти. Додавання канталупи в натуральний йогурт зменшує навантаження на молочну флору та змінює реологічні властивості нових продуктів. Результати дослідження показали, що додавання дині до йогурту значно покращило його якість.

Ці природні функціональні інгредієнти пропонують різноманітний набір біологічно активних сполук, які сприяють їх оздоровчим властивостям. Усі ці інгредієнти мають спільну важливу біологічну активність: антиоксидантні властивості. Вживання багатих на антиоксиданти продуктів може знизити ризик хронічних захворювань. Антиоксидантний потенціал притаманний звичайному йогурту, оскільки процес бродіння генерує амінокислоти та невеликі пептиди, які сприяють антиоксидантній дії. Крім того, присутність відновлюючих цукрів, жирних кислот, олігосахаридів і молочнокислих бактерій в йогурті служить

відновлювачами з антиоксидантними властивостями. Проте включення натуральних функціональних інгредієнтів у йогурти має ключове значення для посилення антиоксидантної активності, враховуючи багатий вміст антиоксидантних компонентів, таких як полісахариди, фенольні речовини, флавоноїди, антоціани тощо.

3.4.2. Мед і продукти бджільництва

Натуральні підсолоджувачі, такі як мед, вважаються найкращим вибором для покращення смаку йогурту порівняно зі штучними альтернативами. Мед, добре вивчений продукт, він відрізняється підвищеним рівнем антиоксидантів, включаючи фенольні сполуки, флавоноїди та каротиноїди. Крім того, мед має відмінні сенсорні властивості, включаючи смак і аромат, що сприяє його популярності серед споживачів.

Мед є складною харчовою речовиною. Основними компонентами меду в середньому є вода (17,2%), фруктоза (31,3%), сахароза (1,3%), мальтоза (7,3%), полісахариди (1,5%), вільні кислоти (0,43%), такі як глюконова, мурашиної, щавлевої кислот та ін., золи (0,169%), азоту (0,041%). В незначній кількості в меді присутні: мінерали, вітаміни, гормони, ферменти, антиоксиданти та інші неідентифіковані компоненти, які відповідають за найважливіші властивості меду.

Козяче молоко, доповнене бджолиним медом у виробництві йогурту, має покращені властивості, при цьому вони спостерігаються при різних концентраціях меду. Прийнятність і загальна готовність купувати такий йогурт демонструє тенденцію до зростання по мірі збільшення концентрації меду. Проблеми, з якими зіткнулися, включали незначне підвищення синерезису та зниження водоутримуючої здатності під час зберігання. Подібним чином використано мед для приготування функціонального йогурту, що дало порівняльні результати. Однак аналіз поживних речовин отриманого йогурту не проводився. Дослідження таких інгредієнтів, як моринга, мед і алое вера, дали

різні результати, які потенційно пов'язані з варіаціями продуктів, видів або умов експерименту.

Моринга олійна, або масляниста – багаторічна рослина родини морингові. Місцеві назви — Дерево очищення, Дерево барабаних паличок, Найкращий друг матері.

Сенсорні властивості йогурту з додаванням меду були однаковими для 2% та 4% доданого меду, тоді як яскравість йогурту зменшувалася протягом періоду зберігання. Існує необхідність у подальших дослідженнях у цій галузі виробництва харчових продуктів, щоб отримати йогурт із підвищеною стабільністю, покращеним смаком, що збагатить харчування і підвищить вміст біологічно активних сполук в продукті.

Прополіс – це смолиста речовина, яку отримують медоносні бджоли з різних частин рослини. Прополіс – це натуральна суміш із сильним запахом, погано розчиняється у воді, має в'язку та липку структуру. З точки зору біологічної активності, він добре відомий своєю антиоксидантною, протимікробною, протизапальною та протипухлинною діяльністю завдяки високій присутності фенольних та летких сполук. Визначено ефект антиоксидантних і антимікробних властивостей порошкоподібного прополісу, використаного в технології йогурту. Додавання інкапсульованого прополісу з різними інкапсулянтами суттєво вплинуло на суху речовину, білок і золу досліджуваних зразків йогурту.

Бджолиний пилок, продукт, утворений агрегацією частинок пилку робочими медоносними бджолами в гранули, демонструє динамічний хімічний профіль під впливом різноманітних рослинних джерел, якими харчуються бджоли. Незважаючи на відсутність точно визначеної хімічної формули, загальний вплив характеризується середнім розподілом, який включає 40–60% простих цукрів, зокрема фруктози та глюкози, 20–60% білків, 3% мінералів та вітамінів, 1–32% жирних кислот і 5% різноманітних компонентів, таких як вітаміни, флавоноїди і фенольні кислоти. Бджолиний пилок демонструє безліч корисних для здоров'я ефектів, включаючи протигрибкові, антимікробні, противірусні, протизапальні, гепатопротекторні, протипухлинні,

імуностимулюючі та локалізовані знеболювальні властивості. Титрована кислотність коливається від 90,00 до 110 °Т, тоді як активна кислотність, виміряна рН, падає від 4,40 до 4,48. Вміст сухої речовини в межах від 12,6% до 12,8%. Вміст вітаміну С коливається від 0,08 до 0,85 мг/100 г. Рівні електропровідності коливаються від 12,83 до 13,79 мСм/см.

Маточне молочко – ще один важливий продукт бджільництва. Маточне молочко, залозистий секрет, синтезований робочими бджолами для годування молодих личинок і маток, відноситься до категорії «дієтичних добавок». Його використання в першу чергу пояснюється не його багатим складом корисних речовин, а скоріше його передбачуваними стимулюючими та терапевтичними властивостями. Визначення його як лікарського засобу означало б залежність від медичних рецептів, обмежуючи виробництво та розповсюдження продуктів на основі маточного молочка виключно у фармацевтичній промисловості. Ці висновки збільшують роль продуктів бджільництва як інгібіторів для мікроорганізмів у продуктах, що зберігаються.

3.4.3. Бобові, коренеплоди, квіти та спеції

Кілька коренеплодів (морква та маніок), квіти (розель, жасмин і лаванда) або спеції (кориця) використовувалися для збагачення йогурту біологічно активними сполуками.

Маніок (*Manihot esculenta*) є тропічним коренеплодом з високим вмістом вуглеводів, а потовщені корені або бульби, багаті крохмалем, є частинами, які використовуються як їжа людини та промислова сировина на основі крохмалю. Крім того, маніок містить фітохімічні речовини, такі як флавоноїди, сапоніни та дубильні речовини, які сприяють її антиоксидантним і протизапальним властивостям. Вміст стійкого крохмалю в маніоці може позитивно вплинути на здоров'я кишківника, служачи пребіотиком, підтримуючи ріст корисних кишкових бактерій. Дослідження показало, що титрована кислотність йогурту з маніоки поступово зросла з 0,64% (на початку) до 0,78% (через 15 днів

зберігання). Популяції дріжджів і плісняви в усіх йогуртах були менше 10^3 КУО/мл, а *E. coli* не було виявлено протягом усього періоду зберігання.

Ефірна олія кориці має широкий спектр застосування у фармацевтичній та харчовій промисловості, що пояснюється його різноманітними біологічно активними властивостями, включаючи антиоксидантну, протизапальну, антимікробну, антидіабетичну, гіполіпідемічну, кардіопротекторну, нейропротекторну, імуномодуючу. Збагачення змішаного йогурту водним екстрактом, отриманим із відходів листя кориці, призвело до значного покращення загального вмісту фенолів і флавоноїдів. Підвищення активності поглинання 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразилу, вираженої антиоксидантної дії, що знижує концентрацію заліза і альбуміну та підвищує активність інгібування процесу денатурації.

Квітка Roselle демонструє різноманітні біологічні властивості, функціонуючи як антиоксидант, регулятор холестерину, модулятор артеріального тиску, протимікробний, протизапальний засіб, вона також сприяє лікуванню діабету. Ці ефекти пояснюються наявністю поліфенолів і флавоноїдів у квітках гібіскуса, зокрема флаванолів як у простих, так і в полімеризованих формах. Подібні дослідження дозволили вважати, що спиртовий екстракт квітки розели виявляє антиоксидантну дію. Крім того, спиртовий екстракт квіток розели в концентрації 3,0% помітно збільшив поглинання вільних радикалів на 392,8% в йогурті.

Морква особливо багата β -каротином, аскорбіновою кислотою та токоферолом, і її класифікують як вітамінізовану їжу. Поєднання морквяного соку з йогуртом покращує поживні та функціональні властивості йогурту. Було досліджено вплив різних пропорцій змішування морквяного соку на термін придатності й сенсорні властивості йогурту і виявлено, що додавання 15% морквяного соку покращило як термін зберігання, так і сприйняття його споживачами.

Додавання барвників рослинного походження може надати споживачам додаткові переваги, окрім їх барвного ефекту. Використання натуральних

рослинних пігментів, таких як пігменти зі шпинату, у пробіотичних змішаних йогуртах даватиме стабільність кольору протягом усього періоду зберігання, без негативного впливу на фізико-хімічні та сенсорні властивості продукту. Рівень рН становить 4,98. На початку зберігання загальний вміст фенолів – 42,7 мг/л, як у варіанті зі шпинатом, так і в контролі.

3.4.4. Інгредієнти з високим вмістом білка

Окрім харчової цінності, молочні продукти з високим вмістом білка сприяють ситості, допомагають контролювати вагу та сприяють збалансованому харчуванню. Додавання різних грибів, рослин (*Sacha ichi*), устриць (*Crassostrea gigas*), квасолі та гороху є прикладами продуктів з високим вмістом білка. Подібно до сочевиці та гороху, суха квасоля містить багатий запас фітохімічних речовин, зокрема поліфенолів, а також необхідні білки та харчові волокна. Наявність життєво важливих поживних речовин і біоактивних сполук може відрізнитися в різних ринкових класах і сортах квасолі через їх відмінні фенотики і генотики. Наприклад, загальний вміст фенолів у бобах коливався від 19,1 до 48,3 мг на 100 г продукту.

Кіноа може похвалитися великою кількістю білків з високою біологічною цінністю, вуглеводів з низьким глікемічним індексом, фітостероїдів, жирних кислот ω -3 і ω -6, а також харчових волокон. Його досконалі харчові якості позиціонують кіноа як цінного претендента на інтеграцію у функціональні харчові продукти. Використання борошна кіноа у кількості від 20 до 50%, відповідало значенням в'язкості сумішей (після желатинізації) від 0,113 до 1,20 Па·с.

Устриця є чудовим джерелом високоякісного харчування, включаючи білок, мінерали та особливо таурин.

Таурин – амінокислота, що міститься у більшості білкових продуктів, які споживає людина, особливо в морепродуктах та м'ясі.

Біологічно активні пептиди гідролізату устриць можуть мати сприятливий вплив на здоров'я людини на додаток до основних поживних ефектів.

Гриб устричний, глива звичайна (устрична) (*Pleurotus ostreatus*) – це продукт багатий β -глюканом, який можна використовувати як природний харчовий стабілізатор. β -глюкан є одним з харчових волокон, які демонструють переваги для здоров'я, такі як імуномодуляторна дія, зниження рівня холестерину в плазмі та запобігання гіпертонії, діабету, ожирінню.

Додавання екстракту призводить до підвищення в'язкості та загального рівня кислоти в продукті, що посилюється з підвищенням концентрації екстракту. І навпаки, додавання екстракту призводить до зменшення синерезису. Більше того, вміст білка та відновлюючого цукру в йогурті збільшується, а підвищення концентрації екстракту прискорює цей процес.

***Agaricus blazei* (агарік бразильський)** – гриб, багатий на біологічно активні сполуки. При додаванні до йогуртів він значно підсилює їх антиоксидантні властивості. Крім того, це суттєво не змінює поживну цінність або окремі профілі жирних кислот йогурту.

Борошно з нуту добре засвоюється і містить високий вміст амінокислот, включаючи високий рівень лізину та аргініну. Завдяки високому вмісту клітковини та білка горохове борошно також вважається потенційним пребіотиком для пробіотичних видів *Lactobacillus*.

Нут (*Cicer arietinum* L.) багатий білком, клітковиною та іншими пребіотичними речовинами. Як харчовий інгредієнт він може підвищувати поживні та функціональні якості харчових продуктів. Отже, борошно з нуту може бути дуже привабливою речовиною для включення в рецептуру йогурту. Недавні дослідження продемонстрували успішне включення борошна з нуту в йогурт. Протягом п'яти тижнів зберігання життєздатна кількість пробіотиків залишалася вище мінімального терапевтичного рівня. У той же час рН, титрована кислотність, вміст золи та загальна кількість сухих речовин збільшувались із збільшенням концентрації нутового борошна в йогурті.

Спіруліна виділяється як натуральна їжа з найвищим вмістом білка – 62%. Вона містить повний набір флавоноїдів і є найпоширенішим джерелом вітаміну Е, фікоціаніну та каротину. Включення спіруліни в дієти сприяє гарному самопочуттю і збалансованому здоровому харчуванню. Його унікальний хімічний склад має численні переваги для здоров'я, потенційно сповільнюючи прогресування різних захворювань, таких як рак, ниркова недостатність і високий кров'яний тиск. Згідно з результатами, збільшення кількості спіруліни з 0,5% до 1,5% призвело до зниження рН з 4,785 до 3,60 і з 4,785 до 3,195. Порошок *Spirulina platensis* відомий своїми потужними антиоксидантними властивостями. Під час зберігання рівні антиоксидантів, загальних фенольних сполук і загальних флавоноїдів демонстрували поступове збільшення протягом 15 днів, як у контрольній групі, так і у всіх групах лікування.

Включення *Moringa oleifera* в йогурт забезпечує помітну біологічну активність. Моринга багата білком, антиоксидантами, вітамінами та мінералами, вона покращує поживний профіль йогурту. Її біологічно активні сполуки можуть сприяти протизапальним і антимікробним властивостям, потенційно покращуючи здоров'ю травлення. Протягом періоду зберігання збагаченого йогурту спостерігається помітне збільшення синерезису, в'язкості, твердості та покращення консистенції продукту. Загальний вміст фенолів становить 280,65 мг/100 г в екстракті та 18,31 мг/100 г в йогурті. Активність поглинання вільних радикалів досягла 78%.

Аналізуючи біологічно активні сполуки фруктів, меду, продуктів бджільництва, бобових, квітів, спецій та високобілкових продуктів, було встановлено зв'язок між їхніми властивостями. Аналіз показав, що всі ці продукти мають спільні біологічно активні сполуки з такими властивостями: антиоксидантна, антибактеріальна, протизапальна та протипухлинна активність.

3.5. Останні тенденції розвитку функціональних йогуртів

Протягом останніх років різні дослідницькі групи включили нові інгредієнти у формули йогурту, від рослинних екстрактів (*Aloe* spp., *Artemisia* spp.) і борошна до різних видів фруктів і навіть чайного гриба. Ці результати довели свою додаткову цінність з функціональної сторони, особливо з пребіотичної та пробіотичної точки зору, а також з точки зору профілів поживних речовин і антиоксидантів.

Алое віра – популярна рослина, яка традиційно використовувалася завдяки своїм лікувальним і терапевтичним властивостям. В даний час її рекламують як цінний інгредієнт для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості. Також повідомлялося, що додавання *алоє віра*, яке має високу концентрацію алоїну, до йогурту збільшило кількість біфідобактерій. Додавання гелю *алоє вера* в йогурт негативно впливає на його текстурні властивості, причому значний вплив спостерігається на більшість характеристик, за винятком пружності. рН знизився порівняно з контрольною групою, тоді як сенсорні показники залишилися без суттєвих змін. Включення соку *алоє віра* помітно посилило синерезис і одночасно зменшило кількість бактерій.

Artemisia absinthium L., широко відома як *полун*, є важливою багаторічною чагарниковою лікарською рослиною, що походить із Північної Африки, Близького Сходу, Європи та Азії. *Artemisia absinthium* містить багато фітохімічних сполук, таких як терпеноїди, органічні кислоти, лактони, дубильні речовини, смоли та феноли. Він також містить флавоноїди та фенольні кислоти (кумаринову, сиригїнову, саліцилову, хлорогенову та ванілінову кислоти), які сприяють механізму поглинання вільних радикалів. Крім того, збагачення йогурту порошком полину покращує його антиоксидантну активність та реологічні властивості протягом усього терміну зберігання. Крім того, термін придатності збагаченого йогурту подовжений приблизно на 4 дні порівняно з контролем.

Борошно із зелених бананів є багатим джерелом харчових волокон, стійкого крохмалю та мінеральних речовин без запаху. Додавання борошна із зелених бананів до 5% покращує фізико-хімічні та сенсорні властивості йогурту. Крім того, це збільшує вміст заліза та клітковини та підвищує поживну цінність йогурту.

Ріжкове дерево – це фрукт, який росте в середземноморському кліматі з високим природним вмістом цукру і багатий вітамінами Е і В, а також мінералами кальцію, магнію, калію, натрію, фосфору, заліза, цинку, марганцю та міді. Оскільки частка екстракту ріжкового дерева, доданого до зразків йогурту, збільшується, вміст D-пінітолу, загальна суха речовина, кількість фенольних сполук і антиоксидантів також збільшуються.

Шафран також знайшов своє застосування у виробництві йогуртів. Дослідження були спрямовані на стабілізацію *шафрану* та екстрактів його квіткових побічних продуктів, багатих поліфенолами, шляхом їх інкапсуляції в альгінатні кульки, а також на дослідження можливості розробки збагаченого йогурту шляхом включення їх у традиційну рецептуру. Знахідка показує, що мікрокапсуляція альгінатом ефективно зберегла антиоксидантні властивості квіток шафрану в матриці йогурту протягом 21-денного періоду зберігання в холодильнику.

Куркума містить різноманітний набір вітамінів і життєво важливих для організму людини речовин. Крім того, куркумін, компонент куркуми, виявляє антиоксидантні, антиканцерогенні, імуномодуючі, протигрибкові та протизапальні властивості, що робить його добре придатним для застосування як у медичній, так і в харчовій промисловості. Тим не менш, додавання водного екстракту куркуміну в змішаний йогурт призводить до зменшення кількості життєздатних клітин пробіотиків. Цей ефект, ймовірно, пояснюється антимікробними властивостями, притаманними куркумі, що негативно впливає на ріст закваски. Крім того, багата антиоксидантами композиція куркуміну, що містить потужні фітонутрієнти, відомі як куркуміноїди, допомагає пригнічувати

рак на різних стадіях розвитку, підтримуючи здоров'я товстої кишки, надаючи нейропротекторні ефекти та сприяючи серцево-судинному здоров'ю.

Поліфенольні сполуки, отримані з екстрактів *мускатного горіха*, можуть збагатити йогурт антиоксидантними властивостями. Насіння мускатного горіха відоме своїми лікувальними властивостями і використовується в кулінарній практиці для посилення смаку та аромату їжі. Він містить α -пінен, β -пінен, п-цимен, β -каріофілен і карвакрол, які виявляють сильні антиоксидантні властивості. Він також використовується як протигрибковий, протимікробний та протизапальний засіб і навіть для зменшення хронічних захворювань печінки. Додавання мускатного горіха значно впливає на зниження рН ($4,47 \pm 2,7$) порівняно з контролем ($4,56 \pm 1,8$).

Основне традиційне використання пряних олій, витягнутих із різних спецій, полягає в їх ролі природних ароматизаторів, які мають значну економічну цінність. В усьому світі зростає попит на пряні олії, особливо ті, які отримують із сухого листя. З огляду на споживчі переваги, смакові сполуки відіграють вирішальну роль в йогуртах. Таким чином, олії різних спецій і рослин вводяться в йогурт у вигляді наноемульсій, які служать функціональними компонентами і ароматизаторами. Це створює ринок для трав'яного йогурту з прямим або листовим смаком, та призводить до підвищення якості при мікробіологічному тестуванні. Додавання олії кмину до йогурту забезпечує помітну біологічну активність. Виявляє антимікробні, антиоксидантні та протизапальні властивості. При додаванні в йогурт олія кмину може сприяти покращенню загального харчового профілю та мати потенційний позитивний вплив продукту на здоров'я. Біологічно активні сполуки в олії кмину, такі як кумінальдегід і кумінол, можуть позитивно впливати на здоров'я травлення та мати позитивний вплив на імунну систему. Крім того, ароматичні та смакові характеристики олії кмину можуть підвищити сенсорну привабливість йогурту, надаючи споживачам унікальний і потенційно корисний кулінарний досвід.

Йогурт зі смаком *кави* був розроблений, щоб збагатити продукт функціональними властивостями та допомогти збільшити споживання кави на

місцевому рівні. Йогурт зі смаком кави, як пробіотичний, так і пребіотичний продукт, має потенціал для покращення харчування людини на додаток до підвищення біодоступності кальцію з йогурту.

Відомо дві стратегії досліджень: перша стратегія може полягати у виключенні холестерину з молока, щоб зменшити його вплив на серцево-судинні захворювання. Друга – це збагачення молока омега-3 жирними кислотами, особливо тому, що ейкозапентаєнова кислота і докозагексаєнова кислота є найвідомішими жирними кислотами, завдяки їхнім властивостям захисту серцево-судинної системи, запобіганню ревматичного артриту, а також антиоксидантній дії. Усього цього можна досягти, додавши мікрокапсульований порошок ω -3 жирної кислоти з риб'ячого жиру. При цьому не спостерігається істотних відмінностей у рН, кислотності або синерезисі між контролем і обробкою під час зберігання. Йогурт з наноліпосомами риб'ячого жиру має більш високі концентрації розщепленого білка порівняно з контрольним йогуртом, але з сенсорними характеристиками, подібними до контролю.

Симбіотична культура бактерій і дріжджів – *комбуча*, яку також називають чайним грибом через його схожість із капелюшками макроскопічних грибів, створює біоплівку на основі целюлози шляхом полімеризації моносахаридів. Вона охоплює оцтовокислі бактерії, дріжджі, молочнокислі бактерії і біфідобактерії, які служать закваскою для виготовлення чаю чайного гриба. Цей ферментований напій, описаний як злегка солодкий і злегка кислуватий, не має встановлених властивостей, що сприяють зміцненню здоров'я для людей на основі сучасних знань. Тим не менш, численні дослідження на тваринах *in vitro* натякають на потенційні корисні властивості. Чай містить біологічно активні сполуки, такі як органічні кислоти, водорозчинні вітаміни та поліфенольні сполуки, які метаболізуються. Завдяки різноманітному складу мікроорганізмів, включаючи кисломолочні бактерії і біфідобактерії, можливо ідентифікувати потенційні пробіотичні штами. Вміст молочної кислоти в продукті досяг найвищого середнього рівня 0,68 г/100 г. Цей продукт має визначені параметри

pH, характерні для кисломолочних напоїв, а також відмінну мікробіологічну якість.

Додавання в йогурт нерозчинних харчових волокон модифікованої *окари* забезпечує помітну біологічну активність. Окара, побічний продукт переробки сої, має значний вміст харчових волокон, що позитивно впливає на травлення та сприяє ситості. Процес модифікації покращує його розчинність і функціональні властивості, забезпечуючи кращу дисперсію та інтеграцію в йогуртову матрицю. Ця добавка збагачує йогурт корисною нерозчинною клітковиною, потенційно посилюючи його пребіотичні ефекти та загальну поживну цінність.

Сьогодні ідею виробництва їжі без будь-яких добавок неможливо уявити як з практичної, так і з теоретичної точки зору. Включення пребіотичних і пробіотичних функціональних інгредієнтів у виробництво йогурту має важливе значення як для якості продукту, так і для здоров'я споживача. Пробиотики, що містять корисні живі мікроорганізми, такі як молочнокислі бактерії, сприяють збалансованості кишкової мікробіоти при регулярному вживанні. Це не тільки покращує здоров'я травлення, але й сприяє омолодженню імунної системи. Ця синергія між пребіотиками та пробіотиками створює продукт із покращеними функціональними та корисними властивостями.

Споживачі часто сприймають йогурт, збагачений цими функціональними інгредієнтами, як більш здоровий вибір. Потенційний імуномодулюючий ефект, покращене засвоєння поживних речовин і наявність біологічно активних сполук ще більше сприяють привабливості цих продуктів. Крім того, включення пребіотиків і пробіотиків дозволяє виробникам йогурту урізноманітнити свої пропозиції, виходячи на преміальний ринок функціональних продуктів харчування. Через зростання проблем зі здоров'ям, ожирінням і проблемами з харчуванням люди схильні шукати раціональні рішення для покращення свого раціону шляхом впровадження інноваційних варіантів і нових комбінацій, які приносять додаткові корисні компоненти в організм.

Використання чайного гриба, мікродоростей, грибів, риб'ячого жиру та спецій є значним зрушенням у тенденціях, підкреслюючи як безмежний розвиток

технологій отримання цих продуктів, так і гострий інтерес до вивчення синергії між цими новими комбінаціями.

Наповнювально-закупорочна машина RFS 120 призначена для розливу йогурту, сметани, кефіру в попередньо виготовлені контейнери з алюмінієвою фольгою та/або кришками. Машина роторного типу має 3 ряди.



Рис. 21. Машина для пакування рідких продуктів та продуктів пастоподібного типу RFS 120 [23]

Таблиця 6

Технічні характеристики машини RFS 120

Продукти	Йогурт, грецький йогурт, сметана, кефір
Тип дозування	об'ємний
Розмір упаковки, г	100 – 500
Вихід	100 – 250 г до 105 порцій/хв 300 – 500 г до 60 порцій/хв
Форма чашок	кругла або квадратна
Температура вхідного продукту, °C	+13 – +15
Знезараження	опромінення УФ лампою

Наповнювально-закупорочна машина RFS 120 використовується в лініях виробництва кисломолочних продуктів для дозованого розливу йогурту, сметани та кефіру з подальшим герметичним закупорюванням тари. Машина призначена для роботи з попередньо виготовленими контейнерами, оснащеними алюмінієвою фольгою та/або кришками, що забезпечує збереження якості продукції та подовження терміну її зберігання.

Роторна конструкція машини з трьома рядами забезпечує безперервність технологічного процесу, високу продуктивність і рівномірність наповнення контейнерів. Використання машини передбачає точне налаштування дозувальної системи відповідно до в'язкості продукту, що особливо важливо при роботі з різними видами кисломолочної продукції.

Особливістю експлуатації RFS 120 є можливість швидкого переналагодження під різні формати тари та типи закупорювальних матеріалів. Машина потребує дотримання санітарно-гігієнічних вимог, зокрема регулярного миття та дезінфекції робочих вузлів, що контактують з продуктом. Контроль температурного режиму та герметичності закупорювання є обов'язковими умовами стабільної та безпечної роботи обладнання.

Питання для самоконтролю

1. Що розуміють під функціональними властивостями традиційних йогуртових продуктів?
2. Що таке йогурт?
3. Що собою представляє функціональний пробіотичний йогурт?
4. Чим корисний йогурт з коров'ячого молока?
5. Якими відмінними властивостями володіє козячий йогурт?
6. Які особливі властивості характеризують йогурт з верблужого молока?
7. Які переваги має йогурт з ослиного молока над іншими йогуртами?
8. Якою має бути вихідна сировина для виробництва йогурту на рослинній основі?
9. В чому полягає процес виготовлення йогурту промисловим способом?

10. З яких основних технологічних стадій складається промислове виготовлення йогурту?
11. Які відомі функціональні інгредієнти застосовують у виробництві йогуртів?
12. Як технологічно відбувається інтеграція фруктів і йогурту?
13. Як споживачі оцінюють йогурт зі смаком полуниці?
14. Яке значення мають бджолиний мед і продукти бджільництва, зокрема прополіс, маточне молочко та інші, у формуванні функціональних властивостей йогуртового продукту?
15. Які природні рослинні інгредієнти здатні насичити йогурт корисними білками?

Рекомендована навчальна література

1. Власенко В.В., Головка М.П., Семко Т.В., Головка Т.М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
2. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
3. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О.В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. Режим доступу: <http://library.nuft.edu.ua>
4. Грек О.В., Ющенко Н.М., Осьмак Т.Г. та ін. Практикум з технології молока та молочних продуктів : навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2015. 431 с.
5. Перцевий Ф.В., Терешкін О.Г., Гурський П.В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. За ред. Ф.В. Перцевого, О.Г. Терешкіна, П.В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
6. Скорченко Т.А., Грек О.В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2012. 330 с.
7. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2013. 502 с.
8. Скарбовійчук О.М., Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А., Федоров В.Г. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник : навч. посібник. МОН України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 311 с.
9. Цехмістренко С.І., Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.

Розділ 4. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МОРОЗИВА НА ОСНОВІ МОЛОКА ТА ІНШОЇ СИРОВИНИ

4.1. Відомості про інновації і вдосконалення виробництва морозива

Морозиво є поширеним харчовим продуктом, що характеризується тривалою історією технологічного розвитку та інновацій. Від ранніх етапів виробництва, заснованих на ручній праці, до сучасних автоматизованих і високотехнологічних процесів, технологія виготовлення морозива зазнала суттєвої еволюції та вдосконалення. На початку виробництва морозива приготування цього замороженого делікатесу було важким завданням. Майстри з виробництва морозива використовували ручні збійники, щоб змішувати та заморожувати інгредієнти вручну. Хоча цей процес дозволяв творчий підхід до смаків і текстур, він був трудомістким і обмежував масштаби виробництва.

Поява механічного охолодження в середині 19 століття зробила революцію в промисловості морозива. Завдяки цій інновації інгредієнти постійно залишались холодними, забезпечуючи більш плавне заморожування та покращену якість. Це також проклало шлях для створення морозива у більших масштабах, зробивши його більш доступним для масового виробництва.

На початку 20 століття технологія безперервного заморожування стала значним проривом у виробництві морозива. Цей метод передбачав проходження суміші морозива через безперервну морозильну камеру, де її швидко охолоджували, перемішуючи, щоб запобігти утворенню кристалів льоду. Безперервне заморожування не тільки підвищило ефективність виробництва, але також призвело до більш гладкої та вершкової текстури морозива.

Гомогенізація, ще одна ключова інновація, допомогла покращити текстуру та консистенцію морозива. Розбиваючи жирові кульки на дрібніші, однорідніші частинки, гомогенізація запобігала поділу вершків і створила кремоподібніший продукт. Цей процес став невід'ємною частиною сучасного виробництва

морозива, забезпечуючи приємні органолептичні відчуття при вживанні морозива.

Оскільки молокопереробна промисловість продовжувала розвиватися, виробники почали включати емульгатори та стабілізатори у свої рецепти морозива. Емульгатори, такі як лецитин і моно- та дигліцериди, допомогли підтримувати стабільну суміш жиру та води, запобігаючи утворенню кристалів льоду та забезпечуючи більш гладку текстуру. Стабілізатори, такі як гуарова камедь і карагенан, покращують загальну текстуру і консистенцію морозива навіть під час тривалого зберігання.

З розвитком промисловості заморожених десертів були введені технології швидкого заморожування. У камерах швидкої заморозки морозиво піддається дії надзвичайно низьких температур в короткий проміжок часу, що призводить до менших кристалів льоду та більш кремової текстури. Ця інновація дозволяє виробникам зберегти якість і смак морозива, продовживши термін його зберігання.



Рис. 22. Промислова безперервна морозильна камера для морозива [24]

Серія GIF від Gram Equipment пропонує автономні безперервні морозильні камери (рис. 22) для морозива продуктивністю від 50 до 1500 літрів на годину.

Gram Equipment, Данія, є провідним світовим постачальником передового обладнання та технологічних рішень для промислового виробництва морозива, що спеціалізується на інноваційних технологіях заморожування та охолодження.

Спеціально розроблені для гнучкого виробництва морозива, ці установки не потребують регулювань на місці після доставки. Після підключення води, електрики та стисненого повітря установка готова до роботи. Відомі функції включають автоматичний контроль перевищення за допомогою масового витратоміра повітря, автоматичний контроль витрати суміші та автоматичний контроль тиску в циліндрі. Крім того, система зберігає робочі параметри до 25 рецептів, забезпечуючи надійні та відтворювані результати. Використання системи прямого розширення R448A та ефективної системи фільтрації і стерилізації повітря забезпечує високий рівень ефективності. Серія включає різні моделі, оснащені вбудованими герметичними спіральними, або шестициліндровими поршневыми компресорами, які забезпечують стабільну та надійну продуктивність заморожування. Серія GIF виділяється своїм зручним інтерфейсом і простотою обслуговування.

Переваги:

- ✓ автоматичний запуск з мінімальними втратами продукту;
- ✓ висока та стабільна якість морозива;
- ✓ зручний інтерфейс із кольоровим сенсорним дисплеєм;
- ✓ контроль із замкнутим контуром для точних операцій;
- ✓ не потребує обслуговування (з простими функціями SIP).

В останні роки обробка під високим тиском (НРР) стала кардинальною в індустрії морозива. НРР передбачає піддавання упакованого морозива високому рівню гідростатичного тиску, ефективне знищення шкідливих бактерій і подовження терміну зберігання без необхідності додавання консервантів. Ця

технологія дозволяє виготовляти більш безпечне та натуральне морозиво з подовженим терміном зберігання.

Удосконалення автоматизації та робототехніки змінили лінії виробництва морозива. Сучасні фабрики використовують автоматизоване обладнання для виконання таких завдань, як змішування інгредієнтів, ароматизація та пакування, що сприяє підвищенню ефективності та узгодженості виробництва. Крім того, налаштовані виробничі лінії дозволяють виробникам експериментувати з широким спектром смаків і рецептур.

Технологія виробництва морозива полягала в постійних інноваціях і удосконаленнях. Від важкого ручного збивання в минулому, до складних і автоматизованих процесів сьогодення. Прогрес проклав шлях для створення високоякісного, смачного морозива, яке захоплює наші смакові рецептори.



Рис. 23. Машина для наповнення та обгортання морозива ARG [25]

Таблиця 7

Технічні дані машини для наповнення та обгортання морозива ARG

Пакування морозива	з вафлями або без вафель на порції
Тип дозування	об'ємний
Продуктивність машини	до 50 упаковок/хв
Розміри упаковки	135 – 240 мл
Форма упаковки	прямокутна
Температура вхідного продукту	мінус 4 – мінус 6°C
Пакувальні матеріали	ламінат з алюмінієвої фольги
Додаткова стерилізація	УФ лампа

Оскільки технології продовжують розвиватися, промисловість постійно очікує нових технологічних і технічних рішень у виробництві морозива. Від більш екологічних методів виробництва до інтеграції штучного інтелекту для розробки смаку, майбутнє обіцяє ще більше інноваційних рішень у виробництві морозива.

У процесі вдосконалення дієтичних та функціональних властивостей морозива можуть застосовуватися різні корисні інгредієнти, так як вітаміни, мінерали, біоактивні пептиди, харчові волокна, пробіотики, пребіотики, сироватка та продукти на її основі, різні жирні кислоти, рослинні олії та прянощі. Крім того, різноманітні рослинні компоненти, такі як фрукти, овочі, лікарські ароматичні рослини, продукти бджільництва (мед, пилок і прополіс) і різні цукрозамінники (рослинні підсолоджувачі, такі як цукровий спирт і стевія) також можуть потенційно використовуватися в поєднанні з основними компонентами морозива. Нутрицевтичні компоненти, які широко використовуються у функціональному морозиві представлені нижче.

4.2. Пробіотики, пребіотики та симбіотики

Пробіотичні молочні продукти є одними з найбільших важливих та досліджених напрямків виробництва функціонального харчування. ***Пробіотики*** визначаються як живі мікроорганізми, що сприятливо впливають на організм людини шляхом балансування мікробної флори кишкової системи. Для досягнення необхідного лікувального ефекту в організмі харчі з пробіотиками слід споживати регулярно і кількість пробіотичних мікроорганізмів у продукті повинна бути мінімум близько 10^6 – 10^8 КУО/г. Молочнокислі бактерії складають найважливішу групу пробіотиків. Тож біфідобактерії та лактобактерії є загальноновживаними бактеріями. Крім того, було відмічено, що різні види *Saccharomyces* також використовують як пробіотики. Користь для здоров'я пояснюється регулярним споживанням продуктів з пробіотиками, що було доведено науковим шляхом.

Пребіотики, які набули популярності після розуміння їх важливості, визначено як неперетравлювані харчові речовини, що підвищують активність обмеженої кількості бактерій у товстій кишці вибірково та тим самим позитивно впливають на організм людини, покращуючи здоров'я. Більшість пребіотиків складається з олігосахаридів і полісахаридів і відомо, що деякі модифіковані вуглеводи та цукрові поліоли демонструють пребіотичні властивості. Споживання пребіотиків корисно для зниження ризиків деяких проявів хвороб, наприклад профілактика діареї внаслідок кишкової інфекції, профілактика остеопорозу в результаті підвищеного споживання кальцію, зниження ризику ожиріння та діабету 2 типу, зниження ризику захворювань товстої кишки в результаті нейтралізації токсичних продуктів, регуляції імунної системи та захисту сечостатевої системи. Повідомлялося, що пребіотики слід приймати в кількості від 8 до 40 г щодня, щоб реалізувати бажані фізіологічні ефекти.

Симбіотики – це певні харчові компоненти, які містять пробіотик та пребіотик. Відомі симбіотики показали ефективність у збереженні життєздатності пробіотика під час проходження через шлунок і тонку кишку і таким чином сприяють вибіркового розвитку і розмноженню пробіотиків у кишківнику.

Розроблено багато функціональних рецептур морозива з використанням пробіотиків та пребіотиків (окремо або в складі з основою), такі продукти були проаналізовані з точки зору різних якісних характеристик. Було виготовлено зразки пробіотичного морозива з використанням *L. acidophilus* і *B. bifidum* для підвищення функціональності та створення терапевтичного ефекту і визначено, що кількість пробіотиків підтримувалась на бажаному рівні ($>10^6$ КУО/г) протягом всього періоду зберігання. В інших дослідженнях, симбіотичні зразки морозива з *L. acidophilus* і *S. boulardii* були отримані та проаналізовані з точки зору деяких параметрів якості. З'ясувалося, що кількість *S. boulardii* (в зразках з *S. Boulardii*) була між 6,37 і 7,26 log КУО/г, а при кількості *L. acidophilus* (в зразках з *L. acidophilus*), що коливалася в межах 7,05 і 8,95 log КУО/г. Крім того, було виявлено суттєвий вплив фруктоолігосахариду, який використовувався як

пробіотик, на життєздатність пробіотичних мікроорганізмів. Було виготовлено низькокалорійне морозиво функціонального призначення з пробіотиком, пробіотиком і симбіотиком та з додаванням 5% інуліну і лактулози. В результаті дослідження визначили, що кількість *B.lactis* у всіх зразків протягом 90-денного зберігання коливався між 6,13 і 7,86 log КУО/г. Було визначено, що кількість *L. acidophilus* і *B. lactis* під час зберігання коливалася між 6,60 і 7,58 log КУО/г і 5,15 і 7,10 log КУО/г. Відповідно, результати отримані при дослідженні пробіотичного морозива, зразки якого приготовлені з використанням яблука, апельсина, вівса, пшениці і бамбукових волокон, були позитивними. Аналогічні результати отримали в іншому дослідженні, у якому біла та темно-синя чорниці виконували функцію пробіотику для *L. casei* у виробництві функціонального пробіотичного морозива. Чисельність *L. casei* показала високу життєздатність і змінювалась між 7,31 і 8,93 log КУО/г.

Необхідний для життя людей кисень викликає утворення вільних радикалів під час нормального явища метаболізму. Вільні радикали – це молекули, які мають один або більше неспарених електронів. У живих системах радикали дуже важливі в багатьох метаболічних функціях, проте відбувається сильне окислення в біологічних молекулах в результаті великої кількості цих сполуки; викликаючи різні захворювання. Антиоксиданти відіграють важливу роль у профілактиці розладів і реакцій, викликаних вільним киснем за рахунок утворення в організмі радикалів або поглинання активних атомів кисню. Вітаміни Е і С, каротиноїди і фенольні сполуки мають важливе значення з точки зору здоров'я людини через їх антиоксидантні властивості. Встановлено, що фрукти, плоди, овочі, прянощі та лікарські ароматні трави, якими можна замінити деякі компоненти рецептур, виявляють антиоксидантні властивості. Їх зазвичай використовуються для збільшення антиоксидантної активності морозива. Дослідження проводили для визначення ефективності використання виноградного (винного) концентрату при виробництві морозива. Реологічні та антиоксидантні властивості морозива, показали, що при додаванням представленого компонента зростала антиоксидантна активність продукту. Крім

того антиоксидантні сполуки залишалися стабільними протягом виробництва та зберігання морозива.

4.3. Зелені, золотисті та червоні ківі

Вивчалися антиоксидантні властивості і поживна цінність молока без цукру та знежиреного молока в морозиві, збагаченому фруктами. Використовували *вітамін С* і його антиоксидантні властивості у виробництві морозива. Найвищий загальний вміст фенолу (у перерахунку на галову кислоту), висока антиоксидантна здатність та значний вмісту вітаміну С виявлені у зразках морозива з червоним ківі, тоді як найнижча антиоксидантна здатність була зафіксована у зразках морозива із зеленим ківі. Дослідження загального фенольного вмісту та антиоксидантної активності морозива, виготовленого з додаванням екстракту центелли+зелень (у вигляді чаю) виявилися вищими, ніж в інших зразках. Для виробництва функціонального морозива було використано олійне борошно (продукт переробки насіння олійних рослин після видалення більшої частини олії) та скоринку (оболонка/лишки насіння або плодів, що містять волокна та корисні речовини) у концентраціях 1%, 2% та 3%. Дослідження показали, що ці компоненти суттєво впливають на якісні властивості морозива, зокрема на його текстуру, смак та стабільність. Крім того, олійне борошно та скоринка можуть виступати як природне джерело антиоксидантів, що підвищує біологічну цінність продукту та розширює його функціональні властивості.

Цікавими є дослідження використання *імбиру* та продуктів на його основі (імбирний сік, цукерки, паста і порошок) у різних співвідношеннях для виробництва морозива функціональні якості. За результатами дослідження, було визначено, що антиоксидантна активність зростає зі збільшенням концентрації в продукті імбиру. Було встановлено, що споживання збагаченого лікопіном морозива мало сприятливу антиоксидантну дію, в першу чергу на шкіру обличчя. Цікавим є факт, що додавання гарбузового пюре у суміш для виготовлення морозива забезпечують підвищений загальний вміст фенолів, і антиоксидантну

активність, що пов'язана з наявністю харчових волокон (розчинних та нерозчинних).

Для підвищення ефективності виробництва морозива, збагаченого різноманітними функціональними компонентами, широко застосовують сучасне інноваційне технологічне обладнання. Зокрема, в останні роки екструдери для морозива набули широкого використання, що дозволяє оптимізувати процеси змішування, структуроутворення та стабілізації продукту.

Екструдер для морозива використовується для виготовлення екструзійного морозива та морозива з начинкою, а також для прикраси та затвердіння морозива. А при використанні допоміжного обладнання можна виготовляти різноманітні види морозива.

Принцип роботи екструдера для морозива: стандартна лінія для екструзії морозива складається із системи передачі поршневого лотка для продукту та камери миттєвого заморожування. Вхідний/вихідний отвір для продукту знаходиться в передній частині камери миттєвого заморожування та з'єднаний з робочою платформою, утворюючи кругову систему передачі. На робочій платформі встановлена стандартна станційна рама для екструдування, наповнення та декорування морозива. Усередині камери миттєвого заморожування ланцюг трансмісії скручується на двох рядах паралельних рам із нержавіючої сталі.

Першим етапом технологічного процесу на виробничій лінії є екструдування сировини для морозива на лотки для продукту (наприклад, нарізані порційні продукти або маленькі торти) або заповнення сировиною попередньо підготовлених ріжків. Різні операційні блоки використовуються для різних продуктів, таких як пристрій для заглушки стрижнів, пристрій для розподілу печива, пристрій для розподілу жувальної гумки, начинка для конусів у формі кулі, морозиво з декоративною поверхнею, карамель, сік, джем або сухофрукти. Потім лотки з продуктами проходять тунель миттєвої заморозки та заморожуються за допомогою циркуляції охолоджуючого повітря. Після того, як

морозиво заморожене, машина зніме продукти з лотків, змочить їх у шоколаді та запакує морозиво.

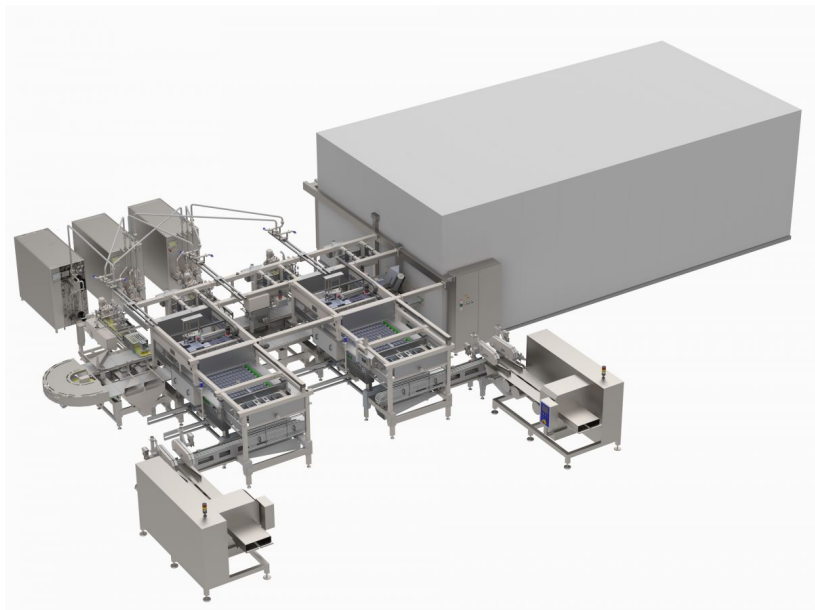


Рис. 24. Екструдер для морозива [26]

Стандартна конструкція екструдера для морозива:

1. *Основна потужність.* Система ланцюгового приводу та джерело живлення всіх пристроїв на робочій платформі знаходяться в тунелі миттєвого заморожування. Ведучі колеса системи ланцюгової передачі та головний ведучий вал під робочою платформою безпосередньо підключені до основної потужності.

2. *Робоча платформа.* Рами станції встановлюються на робочій платформі для оснащення різних функціональних частин для виробництва спеціальних виробів. Ці станційні рами розроблені таким чином, щоб їх можна було замінити одна на одну для виробництва виробів типу екструзії або типу наповнення. Усі зовнішні поверхні та компоненти платформи виготовлені з нержавіючої сталі або нержавіючих матеріалів.

3. *Тунель миттєвої заморозки.* Тунель миттєвого заморожування екструдера для морозива складається з двох комплектів збірних незалежних сховищ. Випарник і високошвидкісний вентилятор розташовані збоку від системи ланцюгової передачі. Усередині камери миттєвого заморожування ланцюг передачі обертається на рамі з нержавіючої сталі вздовж подвійної гвинтової рейки. Усі опорні частини ланцюга, ланцюгові шестерні та рами розроблені таким чином, щоб їх було легко чистити та обслуговувати. Між кронштейном ланцюга та вентилятором є коридор для обслуговування. Механізм натягу, який використовується для фіксації ланцюга передачі, ретельно враховує коливання температури в тунелі миттєвого заморожування. Панель зберігання тунелю миттєвої заморозки виготовлена з нержавіючої сталі з ПУ всередині. Нижня панель зберігання забезпечена дренажною канавою.

4. *Система керування.* Усі випадкові функції, включаючи компонент живлення, функцію наповнення та функцію декорування поверхні морозива, керуються за допомогою ПЛК на центральній панелі керування. Усі виробничі дані можна збирати, керувати та коригувати заздалегідь на панелі керування. Коли інше обладнання підключено до головного комп'ютера, обладнанням можна керувати за допомогою різних програм.

5. *Система охолодження.* У стандартному екструдері для морозива використовується аміачний охолоджуючий випарник. В якості додаткового блоку система також може застосовувати фреоновий випарник.

6. *Передача продукту.* Інструмент передачі продукту спеціально розроблений для передачі продуктів зі стрижнем. Його можна використовувати для замочування стрижневих виробів після екструзійного затвердіння в шоколаді. Прилад оснащений 185 механічними ручками, рухомим резервуаром для замочування шоколаду та спеціальним циркуляційним насосом для шоколаду.

Агрегати LIFE і LIFE-3D від Gram Equipment дозволяють здійснювати екструдкування морозива з великими вкрапленнями, забезпечуючи формування продукту безпосередньо в одному технологічному модулі. У секторі

промислового виробництва морозива зростає попит на різноманітні та інноваційні пропозиції продуктів. Виробництво морозива, яке включає великі шматки інгредієнтів, таких як печиво або фрукти, потребує спеціальної технології екструзії для збереження цілісності та якості продукту.



Рис.25. Екструдери морозива з великими вкрапленнями [27]

Використовуючи запатентовану технологію Cryo-ZAT™ (технологія нульової адгезії), ці пристрої можуть обробляти додавання будь-яких включень, які можуть проходити через пристрій подачі інгредієнтів, забезпечуючи збереження цілісності великих шматочків печива або інших включень у процесі екструзії. Вони підтримують виробничу потужність до 120 штук на хвилину як для стрижневих, так і без стрижневих виробів, залежно від можливостей переміщення нижче за течією. Це робить блок LIFE особливо придатним для створення унікальних і візуально привабливих продуктів (морозива), які відповідають уподобанням сучасних споживачів.

Агрегати LIFE та LIFE-3D від Gram Equipment забезпечують можливість використання великих включень у морозиві, зберігаючи їхню цілісність під час екструдування, що сприяє високій якості та привабливому вигляду продукту. Вони підтримують високу виробничу потужність, застосовують запатентовану

технологію нульової адгезії для зменшення прилипання сировини та спрощення очищення, а також є сумісними з існуючими екструзійними лініями, що дозволяє легко інтегрувати їх у сучасне виробництво.

4.4. Біоактивні білки, пептиди та амінокислоти

Відомо, що білки, пептиди і амінокислоти є компонентами, які забезпечують енергетичні та основні базові функції в харчуванні, а також мають різні біологічні функції (антигіпертензивні, протимікробні і антиоксидантні властивості). Наприклад, білки молока, такі як лактоферин, лактопероксидаза і імуноглобулін, як відомо, мають антибактеріальну дію, протівірусні, протипаразитарні та протигрибкові властивості і виконують важливі функції для імунітету людей. Сироваткові білки, які важливі для фізіології харчування, а також пептидні фракції отримані в результаті гідролізу цих білків, зазвичай використовуються для підвищення харчової цінності продуктів і покращують їх структурні властивості і функціональність.

Так використовують порошок рибного протеїну в різних кількостях (10%, 20% і 30%) для збагачення морозива білком. Дослідники дійшли висновку, що ця практика ефективна при виробництві функціонального морозива. В іншому дослідженні було зафіксовано ефект від використання ізоляту і гідролізату соєового білка на фізико-хімічні властивості морозива, що швидко тане. Ці дослідження показують перспективи збагачення морозива білковими компонентами різного походження.

4.5. Сироватка та продукти на її основі

Сироватка, яка є найважливішим побічним продуктом технології сиру, є ситним і поживним продуктом харчування за наявності сироваткових білків, лактози, жиру, мінеральних речовин і водорозчинних вітамінів (зокрема рибофлавіну). Сьогодні за допомогою різних технік (наприклад, ультрафільтрації, мікрофільтрації, зворотного осмосу, іонного обміну), суха сироватка, концентрат сироваткового білка, ізоляти сироваткового білка,

сироватка з низьким вмістом лактози, демінералізована сироватка і гідролізована сироватка можуть бути промислово отримані і комерційно вигідні. Сироваткові білки, які мають найвищу харчову якість і цінність серед усіх харчових білків, є оптимальним джерелом для виробництва функціональних компонентів їжі.

Сироватка та продукти на її основі використовуються для виготовлення морозива шляхом додавання сухої речовини з метою посилення смаку та аромату, збільшення кількості білка та покращення текстурних властивостей. Особливий ефект виявлено у разі додавання протеозо-пептонної сироваткової фракції. Такі дослідження показують, що за умови додавання сироватки концентрація білка в молоці і суміші вершків збільшено, а також спостерігається покращення текстурних властивостей морозива. У виготовлених зразках морозива з додаванням глікованого ізоляту сироваткового протеїну, відмічено, що цей білковий ізолят має значний вплив на якісні властивості та антиоксидантну активність морозива. Були проведені дослідження, спрямовані на виробництво морозива зі зниженим вмістом лактози, шляхом його збагачення сухою сироваткою. Для досягнення цієї мети використовували β -галактозидазу – фермент для гідролізу лактози. Було визначено в результаті дослідження, що гідроліз лактози змінився в межах 86,59–97,97%, а у морозиві з лактозою вміст її зменшився на 91%, що дозволило споживати таке функціональне морозиво особам з непереносимістю лактози.

4.6. Біоактивні ліпіди

Крім того, що жири сприяють відчуттю смаку їжі, вони також надають організму значну частину енергії, отриманої з їжі, і є носіями жиророзчинних вітамінів та виступають важливим цінним джерелом незамінних компонентів. Продукти перетравлення жирів, поряд з ендогенно синтезованими ліпідами, забезпечують різноманітні групи молекул, які відіграють вирішальну роль у множині метаболічних процесів.

Молочний жир є важливою поживною речовиною з точки зору харчування, оскільки містить жирні кислоти підвищеного фізіологічного значення. Він має

високу здатність до перетравлення і містить різноманітні вітаміни (А, D, Е, К). В складі молочного жиру розрізняють коротко- або середньоланцюгові жирні кислоти з високими функціональними властивостями, такі як фосфоліпіди, поліненасичені жирні кислоти, холестерин, гангліцити та гліколіпіди. З поліненасичених жирних кислот, які дуже важливі з точки зору фізіології харчування, наявні лінолева, ліноленова та арахідонові жирні кислоти. Вони є незамінними жирними кислотами, які не можуть бути синтезовані організмом людини. Тому ці основні жирні кислоти слід приймати з їжею. Крім цих жирних кислот ще присутні поліненасичені жирні кислоти, такі як ейкозапентаєнова кислота, докозагексаєнова кислота і кон'югована лінолева кислота, вони мають важливе значення для людського організму.

Відомо, що омега-3 жирні кислоти містяться у великій кількості в морській сировині, такій як риба, мідії, молюски та креветки, тоді як омега-6 жирні кислоти присутні в різних рослинних джерелах, таких як горіхи, волоські горіхи, насіння кунжуту, насіння льону, соєві боби, рапс та оливки. В епідеміологічних дослідженнях, незамінні жирні кислоти відіграють ключову роль у запобіганні багатьох захворювань, таких як серцевий напад, серцево-судинні захворювання, депресія, мігрень, суглоби ревматизм, діабет, високий рівень холестерину, артеріальний тиск, алергія. Було помічено, що деякі морепродукти і насіння олійних культур зазвичай використовували для збагачення морозива різними жирними кислотами, в першу чергу омега-3 і омега-6.

Було використано молоко, отримане від корів, що харчувались пальмовою і кокосовою олією, його використовували для виробництва морозива, збагаченого омега-3 жирними кислотами. Результати показали, що молоко, отримане від корів, яких годували пальмовою олією, містить більшу кількість омега-3 жирних кислот порівняно з тими, що харчувалися кокосовою олією; аналогічний результат також спостерігалися у зразках морозива. Було також доведено, що фракції молочного жиру з низькою температурою плавлення можна використовувати у рецептурі функціонального морозива.

Додавання олії чіа при різних концентраціях (5%, 10%, 15% і 20%) істотно впливає на концентрацію омега-3 жирних кислот у зразках морозива та підвищує вміст фенолів, флавоноїдів і вільних радикалів. В іншому дослідженні у виробництві морозива використовувався мікрокапсульований жир товстолобика у морозиві зі смаком ванілі та какао. Було також використано три різні співвідношення (5%, 10%, і 15%) пюре з устриць (*Crassostrea iredalei*) з метою підвищення харчової цінності морозива. В результаті дослідження, найвищий загальний бал прийнятності продукту (сенсорної оцінки) фіксувався в зразках з 10%-ми устричного пюре.

4.7. Підсолоджувачі

Останнім часом зріс інтерес до низькокалорійної їжі за рахунок збільшення кількості продуктів з альтернативними популярними підсолоджувачами. У деяких дослідженнях повідомляється про можливість виникнення захворювань обміну речовин (цукровий діабет, серцево-судинні захворювання, ожиріння) в результаті надмірного споживання цукру. Як правило морозиво – це молочний продукт з високим вмістом цукру. Таким чином, дослідники почали використовувати різні підсолоджувачі для поліпшення функціональних властивостей морозива і зниження його калорійності.

Різноманітні підсолоджувачі можуть бути використані у виробництві морозива: сахароза, глюкоза, фруктоза, мальтоза, лактоза, інвертний цукор, кукурудзяний сироп з високим вмістом фруктози або мальтози, коричневий цукор, мед, цукрові спирти (наприклад сорбіт, мальтит, маніт, оритрит, лактит і ксиліт) і високоінтенсивні підсолоджувачі (аспартам, ацесульфам К, сахарин і стевія).

Досліджене використання стевії у виробництві морозива (як природного підсолоджувача) і визначено, що стевія покращує такі властивості, як в'язкість, швидкість вибігу та швидкість плавлення морозива і її можна використовувати при виробництві морозива для споживачів хворих на цукровий діабет.

Стевія – один з родів родини айстрових, складається з близько 240 видів трав та чагарників. Походить з субтропічних та тропічних областей Північної та Південної Америки. Вид *Stevia rebaudiana*, або, звичайно, просто стевія широко вирощується з метою одержання солодкого листя.

Також проводили виробництво морозива з додаванням кокосової олії та використанням низькоглікемічних підсолоджувачів, таких як ксиліт, еритритол, інулін та фруктоза, як альтернативу сахарозі, що дозволяє знизити глікемічний індекс продукту. Встановлено, що у створеній суміші можна використовувати еритритол, 7% інуліну та 2,15% фруктози як джерело цукру у морозиві з кокосовою олією з низьким глікемічним індексом, що дозволяє застосовувати їх як альтернативу 12% сахарози. Досліджено різні зразки морозива, виготовлені шляхом використання меду, трегалози та еритритолу (як альтернативи цукру). Відмічено, що ці підсолоджувачі можна використовувати саме як замітники цукру. Більш того, про це повідомили в дослідженнях, за якими рекомендовано використовувати трегалозу, еритритол та інші підсолоджувачі в морозиві для регулювання жорсткості та процесу танення. В інших дослідженнях низькокалорійне морозиво було виготовлено з використанням сухого порошку шовковиці (замінника сахарози) і горіхової пасти (як замітник молочного жиру). Було визначено, що додавання цих компонентів заміщення мало позитивний вплив на фізико-хімічні та сенсорні властивості морозива. Також повідомлялося, що була розроблена альтернативна рецептура морозива для споживачів, які віддають перевагу натуральним і низькокалорійним продуктам та мають в пріоритеті здорове харчування.

4.8. Харчові волокна

Харчові волокна визначаються як компоненти їжі, які зазвичай доступні в рослинній сировині, в основному у злаках, фруктах та овочах. Вони є стійкими до дії травних ферментів і не можуть перетравлюватися в кишківнику, але повністю або частково ферментуються в товстому кишківнику. Харчові волокна

можна класифікувати різними способами включаючи біологічне походження, молекулярну структуру, фізико-хімічні властивості та фізіологічні ефекти. Зазвичай їх поділяють на два класи: 1) водорозчинні (різні неперетравлювані олігосахариди, такі як пектин, слиз, слабозв'язані геміцелюлози, бета-глюкани і інулін); 2) нерозчинні у воді (целюлоза, лігнін). Харчові волокна сприяють змінам та покращенню текстурних, сенсорних властивостей та терміну придатності при використанні в харчових рецептах через їхні численні функціональні властивості, такі як здатність до зв'язування води, здатність до гелеутворення, заміщення олії, текстуроутворення та надання об'єму продукту. Крім того, ці компоненти становлять основну складову енергетично-дієтичних продуктів, яких дедалі більше споживається останнім часом, а також вони широко використовуються в функціональних продуктах харчування через їх позитивний вплив на здоров'я людини. Деякі епідеміологічні дослідження показали, що існує прямий зв'язок між споживанням продуктів з високим вмістом клітковини та профілактикою деяких хронічних захворювань, таких як серцево-судинні захворювання, ожиріння, діабет, запори. Крім того, ці компоненти мають основні біологічно активні функції, такі як зниження рівня холестерину, біодоступність кальцію та зміцнення імунологічної системи. Рекомендоване щоденне споживання загальної кількості клітковини має становити 38 г для дорослих чоловіків і 25 г для дорослих жінок. Що стосується функціонального морозива, то проводилися різноманітні дослідження його виготовлення з використанням рослинних харчових волокон на основі фруктів та овочів. Було досліджено реологічні та термічні властивості зразків морозива, що виробляється з використанням різних харчових волокон (вівсяних, пшеничних, яблучних та інуліну) у різних співвідношеннях (2% та 4%). Зроблено висновок, що додавання клітковини збільшує значення в'язкості сумішей для морозива, а використання 2% клітковини діє на температуру плавлення суміші. З іншого боку використання апельсинової клітковини, як заміника олії в лимонному морозиві, може привести до зменшення кількості олії та збільшення

вмісту різноманітних біоактивних компонентів, таких як клітковина та каротиноїди.

В подальшому використовували сироватковий білок, модифікований крохмаль, вівсяну та пшеничну клітковину у кількості 1% та 2%, як замітник олії для виробництва функціонального морозива. У результаті дослідження було зроблено висновок, що збільшення кількості клітковини підвищує в'язкість і найвище значення в'язкості виявлено у зразках морозива з модифікованим крохмалем. Це було зазначено також в іншому дослідженні при додаванні клітковини персика, яку можна використовувати як оптимальне природне джерело для виробництва морозива з підвищеною харчовою цінністю, особливо у разі використання 1% волокна з м'якоті персика. Цей варіант найбільше сподобався споживачам.

4.9. Вітаміни та мінерали

Вітаміни та мінерали є одними з основних компонентів їжі для людського організму. Відомо, що більшість вітамінів не можуть синтезуватися в організмі, тому вони повинні надходити з їжею. В основному досліджуються вітаміни, поділені на дві групи, а саме жиророзчинні (A, D, E і K) і водорозчинні (групи B і C). Корисні компоненти, які поширені в природі, є важливими елементами живлення, що відіграють ключову роль у зростанні та розвитку організму та захисту його здоров'я. Вони також поділені на макро (Ca, Mg, K, Na, Cl, P і S) і мікро (I, Zn, Se, Fe, Mn, Cu, Co, Mo, F, Cr і B). Молочні продукти, що входять до щоденного раціону, багаті Ca і P; крім того, вони є важливими джерелами для багатьох поживних елементів, в першу чергу Mg, вітаміни A, B₁, B₂, B₃, B₁₂, D, E і K. Рекомендуються продукти з наявними корисними елементами, що повинні споживатися всіма віковими групами, особливо дітьми. У літературі зазначено, що зазвичай використовуються рослинні джерела, зокрема фрукти, які здатні збагатити морозиво вітамінами і мінералами. Було визначено, що кількість вітаміну C, Mg і K може бути збільшена у зразках морозива з додаванням кумквату (*Fortunella margarita*). Відмічено симбіотичні властивості морозива,

яке було виготовлено з використанням аскорбінової кислоти та глюкози оксидази. Додавання аскорбінової кислоти позитивно вплинули на ріст *L. acidophilus* і *біфідобактерій*.

Додавання порошку зеленого чаю в різних концентраціях (1% і 2%) призводить до зростання кількості Ca, Cu, Mg, K, Zn і Na та інших мінеральних речовин, а використання кисломолочних бактерій, збагачує продукт іонами Mg, що є перспективним для виробництва пробіотичного морозива. Для цього використовують *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus rhamnosus* і штами *Lactococcus lactis*; підготовлені культури збагачують іонами Mg застосовуючи імпульсне електричне поле. Після такої обробки пробіотики та їх окремі штами використовувалися у виробництві функціонального морозива.

4.10. Лідерство морозива серед молочних продуктів

Інноваційні технології виробництва морозива дозволили сучасним виробникам виготовляти його найрізноманітніші види в промислових масштабах. Популярність цього продукту серед різних категорій населення у цілому світі зростає щорічно. Крім різноманіття смакових якостей, морозиво чудово знімає стрес, підвищує настрій, насичує організм необхідними речовинами. При регулярному вживанні морозива виробляється імунітет до простудних захворювань ротової порожнини. Але найцікавішим є те (доведено вченими), що, снідаючи морозивом, відбувається активізація організму, що стимулює мозкову діяльність, а також підвищує здатність зосереджуватися на поставленому завданні.

4.11. 6 концепцій створення інноваційного морозива

Хоча попит на морозиво продовжує зростати, справжні інновації відбуваються повільно. Щоб допомогти цій галузі зрушити з місця, потрібно революційне та концептуальне мислення щодо інгредієнтів для морозива та продуктів (інноваційної сировини), які могли б сприяти зростанню його

виробництва в майбутньому. Це мислення було показане і адаптоване в 6 інноваційних платформах, на базі яких можна створювати майбутні продукти.

1. **5-D сенсорна стимуляція.** Потреби споживачів розширилися, їхні очікування зросли та стають все більш мультисенсорними. Морозиво відоме своєю візуальною привабливістю – це одна з найбільш популярних молочних продуктів. Це означає, що є можливість продовжувати випускати приголомшливі творіння та створювати ще більш інтенсивні смаки, наприклад, смаки умамі, запозичені з міксології. Але це також залишає простір для інновацій, які стимулюють усі 5 почуттів.

2. **Відпочинок.** Було зроблено твердження, що багато споживачів їдять морозиво безпосередньо перед сном. Незалежно від того, підтверджені вони чи ні, вони вказують на невикористану можливість для морозива, яке допомагає людям розслабитися та краще спати. Споживачі, як правило, не хочуть надмірно споживати продукт перед сном, але може бути перспектива для морозива, яке задовольнить потребу розслабитись і заспокоїтись перед сном або вечерею. Завдання полягає в тому, щоб знайти кращі способи зняти стрес і розслабитися без медикаментозного втручання. Оскільки снодійний компонент мелатонін природним чином присутній у молоці, це одна з областей, яку варто почати досліджувати.

3. **Здоров'я та фармацевтика.** Якщо ложка цукру допомагає знизити кількість ліків, то й кулька морозива також може їх знизити. Додаючи функціональні компоненти в морозиво, споживачі могли б покращити здоров'я свого кишечника, імунітет, споживання клітковини та загальне харчування, а також задовольнити свою потребу у смачній та корисній їжі. Ця категорія морозива може легко розширювати виробництво, щоб виробляти справжнє фармацевтичне морозиво або морозиво, яке допомагає доставити ліки, наприклад, літнім пацієнтам яким важко жувати тверду їжу.

4. **Розумне виробництво.** Клієнти все більше хвилюються щодо навколишнього середовища та упакованих товарів. Подібно до того, як домашні пристрої допомогли споживачам робити власну газовану воду, є перспективи для

інновацій у виробництві морозива, які допомагають виробляти невеликі порції морозива вдома. Це можна зробити за допомогою кухонних приладів, а також за допомогою харчових технологій, які виробляють порошки морозива або концентрати, призначені для повторного змішування та виробництва морозива вдома.

5. ***Альтернативне майбутнє.*** Як показують дослідження продуктів рослинного походження, все більше споживачів відмовляються від класичних молочних продуктів і використовують альтернативні молочні інгредієнти. Ця платформа є складною, але спрямована в майбутнє. Одне питання полягає в тому, як відійти від традиційних молочних продуктів? Чи існують більш стійкі джерела молока, яким довіряють споживачі, наприклад, верблюже молоко? Або, якби молочних продуктів не існувало, як би виглядало морозиво? У міру того як розвиваються харчові технології виробництва продуктів рослинного походження, виникає потреба в розробці різноманітних заморожених продуктів.

6. ***Безлімітне морозиво.*** Поруч із персоналізованим харчуванням є персоналізоване забезпечення продуктом. Споживачі хочуть продукти, які є індивідуальними – «для мене, на даний момент», – які задовольняють їхні бажання технологічними способами. Це означає надання необмежених можливостей у створенні самого продукту за багатьма напрямками з допомогою наведених вище технологічних рішень, а також можливість вибору способу подачі, упаковки, купівлі морозива тощо. Тобто забезпечення споживача безлімітним виробництвом улюбленого продукту, що гарантує високий рівень позитивних емоцій.

4.12. Нанотехнології для покращення текстури, реології та антимікробних аспектів молочних десертів і морозива

Нанотехнології з'явилися як багатообіцяючий напрямок покращення текстури, реології та антимікробних властивостей молочних десертів і морозива. У цьому розділі представлено огляд того, як нанотехнології застосовуються при розробці молочних продуктів, зосереджуючись на їх впливі на текстуру,

характеристики та антимікробні властивості. Крім того, наноматеріали мають вирішальне значення для покращення сенсорних аспектів, таких як смак і загальна споживча привабливість. Інтеграція наноструктур у молочні продукти може змінити структурні та функціональні характеристики цих продуктів, що призведе до покращення текстури та поживності. Крім того, введення наноматеріалів у молочні продукти може покращити реологічні властивості шляхом покращення стабільності та консистенції емульсії, зміни в'язкості матеріалу для впливу на текучість та легкість взаємодії з іншими компонентами в матриці продукту, тим самим впливаючи на такі властивості, як кремоподібність і смакові відчуття. Антимікробні наноматеріали з підвищеним співвідношенням поверхні до об'єму, відіграють вирішальну роль у запобіганні псуванню та забезпеченні безпеки продукту. Вивчаються потенційні переваги та проблеми, пов'язані з використанням нанотехнологій у молочних десертах і морозиві, підкреслюючи важливість подальших досліджень у цій галузі, що поступово розвивається.

Нанотехнології прокладають шлях до нової ери в еволюції традиційного сільського господарства, що призводить до появи інноваційних досягнень у харчовій промисловості. У результаті відбувся помітний прогрес у промисловості, удосконалення звичайних технологій і розробка продуктів із покращеними характеристиками та функціями. Нанотехнологія передбачає маніпулювання матеріалами в неймовірно малому масштабі, зокрема на нанометровому рівні (10^{-9} метра). Ця маніпуляція дозволяє створювати та проектувати структури, які володіють винятковими та відмінними властивостями. Наночастинки та нанокапсули додають до різних харчових продуктів з метою подовження терміну їх зберігання, зміни властивостей (консистенції), покращення поживної цінності та зміни смаку. Технологія нанокапсуляції – це передова техніка, яка має величезний потенціал для захисту біоактивних сполук. Наночастинки пропонують новітні характеристики для інкапсуляції та ефективного вивільнення порівняно зі звичайними методами. Нанокапсуляція ефективно використовується для приховування неприємного

аромату та смаку та контролю механізму вивільнення. Крім того, наночастинки малих розмірів мають здатність вільно циркулювати в організмі та ефективно проникати в різні тканини. Їх можна використовувати для створення текстури та зміни зовнішнього вигляду харчових продуктів. Точне маніпулювання молекулами їжі на нанорівні має потенціал для зміни численних макромасштабних характеристик харчових продуктів. До них належать текстура та сенсорні властивості.

Термін «молочні продукти» охоплює різноманітний діапазон матеріалів, які мають дві спільні характеристики: усі вони отримують з молока та становлять особливий інтерес для реологів. Молочні десерти – це солодощі, виготовлені шляхом заморожування пастеризованої суміші, що містить молоко та молочні продукти, такі як вершки, йогурт або сир. Такі десерти вважаються емульсіями та можуть містити хлібобулочні вироби, як-то тістечка чи печиво, у вигляді шарів або покриттів. Вони можуть мати різну консистенцію, від твердої до м'якої та кремоподібної, і можуть містити дозволені харчові добавки. Заморожений йогурт, також відомий як йогуртове морозиво, є популярним молочним десертом, який поєднує специфічний смак йогурту з кремовою текстурою морозива. Обробка замороженого йогурту передбачає змішування йогурту зі стабілізаторами, емульгаторами та цукром перед заморожуванням за допомогою звичайної морозильної камери для морозива.

Морозиво як молочний десерт – це продукт, який відповідає фундаментальному визначенню емульсії, зазвичай складається з води або молока, харчових жирів, білків і цукру. Він може містити або не містити повітря. Традиційні рецептури молочних десертів і морозива зазвичай передбачають змішування молока, вершків, цукру та ароматизаторів перед процесом заморожування для досягнення бажаної текстури та консистенції. Однак проблеми у виробництві цих молочних ласощів включають підтримку стабільності, контроль кристалізації, керування включенням повітря та забезпечення належного емульгування. Крім того, такі фактори, як якість інгредієнтів, технології обробки та умови зберігання, можуть впливати на

сенсорні властивості кінцевого продукту та загальну якість. Інновації в технології інгредієнтів і методах обробки продовжують вирішувати ці проблеми. Вони спрямовані на покращення смаку, текстури та терміну зберігання молочних десертів і морозива. Підвищення обізнаності щодо важливості функціональної та здорової їжі в харчуванні людини призвело до впровадження кількох дієтичних модифікацій у молочних продуктах. Молочні продукти, такі як вершки та морозиво, є основними факторами впливу поліхлорованих біфенілів (ПХБ) на людину.

Поліхлоровані біфеніли (ПХБ) – група з більш ніж 200 органічних сполук, яка включає всі хлорзаміщені похідні дифенілу (1–10 атомів хлору, з'єднаних з будь-яким атомом вуглецю дифенілу, молекула якого складається з двох бензойних кілець). Поліхлоровані дифеніли (ПХД) – висококанцерогенні хімічні сполуки, які раніше використовували в промислових і споживчих товарах.

У дослідженнях оцінка ПХБ у вершках і морозиві була проведена за допомогою газової хроматографії в поєднанні з потрійною квадрупольною тандемною мас-спектрометрією для оцінки ризику для здоров'я. Висновки показали, що середня загальна концентрація ПХБ у вершках була більшою, ніж у зразках морозива. Але остаточний аналіз показав, що додатковий рівень ризику розвитку захворювань протягом життя (при наявності сполук ПХБ у морозиві та вершках) може бути нижчим за прийнятний поріг ризику.

Щоб посилити переваги для здоров'я та відтворити текстуру десерту на основі сиру (Chhana-murki), який зазвичай містить високий рівень сахарози, різні харчові волокна, такі як мікрокристалічна целюлоза (МСС), інулін, вівсяна клітковина та пшенична клітковина, були оцінені на наявність і їхній потенціал замінити цукор при формуванні сенсорних і фізичних властивостей. Згідно з результатами, МСС при 7,5% показала найвищі сенсорні результати оцінки завдяки оптимальному вмісту вологи та активності води, що призвело до мінімальної твердості продукту. Проте волокна вівса та пшениці підвищують

твердість продукту та знижують вміст води і водну активність, що призводить до нижчих сенсорних оцінок. Заміна мікрокристалічної целюлози інуліном у співвідношенні 1:1 покращила характеристики продукту. Крім того, у кількох дослідженнях було розглянуто вплив додавання пробіотиків на якість і користь для здоров'я функціонального морозива та молочних десертів, що може призвести до відповідних технічних і сенсорних характеристик кінцевого продукту.

Застосування нанотехнологій у молочній галузі має значну актуальність через їх потенціал революціонізувати різні аспекти молочної промисловості. Нанотехнології пропонують багатообіцяючі можливості для підвищення якості, безпеки та функціональності молочних продуктів, шляхом розробки інноваційних наноструктурованих матеріалів і систем доставки. Нанотехнології використовуються в молочних десертах і морозиві для покращення текстури та реологічних властивостей шляхом включення частинок нанорозміру для підвищення кремоподібності та стабільності. Крім того, нанотехнології можуть бути застосовані для надання антимікробних властивостей цим продуктам, допомагаючи забезпечити безпеку харчових продуктів і подовжити термін зберігання за допомогою механізмів контрольованого вивільнення антимікробних агентів на нанорозмірному рівні.

Використання нанотехнологій у молочних десертах і морозиві демонструє інноваційні підходи до підвищення якості та безпеки продукції, одночасно задовольняючи вимоги споживачів щодо покращених сенсорних характеристик і тривалої свіжості морозива. Використовуючи наноматеріали, такі як нанофібрильована целюлоза та наноліпосоми, молочні продукти можна збагачувати біологічно активними сполуками, вітамінами та мінералами, покращуючи їхню харчову цінність та корисність для здоров'я.

Нанотехнології також дозволяють інкапсулювати чутливі інгредієнти, такі як пробіотики та омега-3 жирні кислоти, для підвищення їх стабільності та біодоступності в молочних продуктах.

Використання наносенсорів і упаковки на основі наноматеріалів, при пакуванні молочних продуктів, може подовжити термін їх зберігання, відстежувати стан і безпеку споживання, шляхом виявлення забруднюючих речовин і моніторингу свіжості.

Застосування нанотехнологій у молочній науці не лише покращує якість продукції, але й вирішує проблеми сталого розвитку шляхом зменшення харчових відходів та оптимізації виробничих процесів. Загалом, інтеграція нанотехнологій у молочну науку має потенціал для стимулювання інновацій, покращення продуктивності продукції та задоволення потреб споживачів щодо здоровіших і більш функціональних молочних продуктів.

4.12.1. *Основні методи нанокапсуляції в молочних продуктах*

Використання нанокапсуляції пропонує кілька потенційних переваг щодо біологічно активних сполук, присутніх у їжі. Ці переваги включають підвищення розчинності та здатності до диспергування цих сполук, особливо тих, які є гідрофобними за своєю природою. Крім того, нанокапсуляція дозволяє контролювати вивільнення цих сполук у травному тракті, а також маскує будь-які неприємні сенсорні властивості, якими вони можуть володіти. Крім того, це покращує здатність цих сполук залишатися неушкодженими та не піддаватися впливу умов обробки та зберігання харчових продуктів, забезпечуючи їхню функціональність та ефективність в організмі людини.

4.12.2. *Наноемульсії*

Наноемульсії – це прозорі дисперсії з розподілом розмірів крапель від 20 до 500 нм, що забезпечує високу колоїдну стабільність. Наноемульсії створюються шляхом стабілізації водної та масляної фаз за допомогою емульгаторів. Методи, які використовуються для виготовлення наноемульсій, можна класифікувати на високоенергетичні та низькоенергетичні методи емульгування. Ці методи дозволяють комбінувати активні інгредієнти в капсулах

або в безперервній фазі, або на межі розділу. Це забезпечує інкапсуляцію та контрольоване вивільнення кількох функціональних компонентів в одній системі доставки. Також наноемульсії можна застосовувати для підвищення якості різних харчових продуктів. На стабільність і зручність використання наноемульсій впливають властивості крапель і їхні фізико-хімічні характеристики. Тенденція до використання наноемульсій зростає через їх специфічні характеристики, включаючи створення функціональних напоїв і продуктів харчування, підвищене поглинання поживних речовин і покращену стійкість до фізичних змін. Методи наноемульсій все частіше досліджуються в молочній промисловості для покращення текстури, стабільності, терміну зберігання та сенсорних властивостей десертів і морозива. Використовуючи наноемульсії, можна досягти кращого контролю над структурою та смаком молочних продуктів. Включення наноемульсій у молочні десерти та рецептури морозива може призвести до покращення кремоподібності, зменшення кристалізації та покращення вивільнення смаку, що в кінцевому підсумку покращує загальну якість і задоволення від споживання цих продуктів. Крім того, додаючи антимікробні агенти до наноемульсій, виробники можуть створювати системи доставки, які забезпечують контрольоване вивільнення цих агентів, що призводить до покращення харчової безпеки та подовження терміну зберігання молочних продуктів.

4.12.3. Коацервація

Коацервація – це техніка, яка використовується для виділення або концентрування необхідної речовини (окремої макромолекули або їх комбінації) з розчину шляхом утворення коацерватної фази. Техніка коацервації передбачає відділення одного або кількох гідроколоїдів від вихідного розчину шляхом дисоціації. Після цього коацерват, який утворюється, відкладається навколо активного інгредієнта. Цей процес дозволяє інкапсулювати активний інгредієнт у фазі коацервату, забезпечуючи захист і властивості контрольованого

вивільнення. Коацервати, як правило, є оборотними структурами, які утворюються та відокремлюються, коли вносяться зміни в розчин або змінюються умови середовища. У цій техніці коацерват утворюється, коли два або більше протилежно заряджених полімерів або колоїдів взаємодіють у розчині, що призводить до утворення щільної, багатой рідиною фази, окремої від решти розчину. Фазу коацервату потім можна зібрати та додатково обробити для виділення потрібної речовини. Ця техніка зазвичай використовується в різних галузях промисловості, таких як фармацевтична, харчова та косметична, для інкапсуляції, контрольованого вивільнення та очищення. Коацервація в молочних десертах і морозиві впливає на текстуру шляхом інкапсуляції та контролю вивільнення ключових інгредієнтів, таких як жир, білки та ароматичні сполуки, покращуючи кремоподібність і структуру продукту. Цей процес також може покращити стабільність і стійкість до плавлення або синерезису шляхом зміни структурної мережі продуктів. Коацервація впливає на реологічні властивості молочних десертів і морозива шляхом зміни в'язкості, характеристик текучості та структурної цілісності. Інкапсуляція інгредієнтів за допомогою коацервації змінює взаємодію всередині матриці, покращуючи кремоподібність, зменшуючи кристалізацію та покращуючи загальні реологічні характеристики. Крім того, методи коацервації можуть підвищити безпеку та термін придатності молочних десертів і морозива шляхом додавання антимікробних агентів і контролю їх вивільнення для боротьби з ростом мікробів і наступним псуванням продукту.

4.12.4. *Комплексоутворення включення*

Комплексоутворення включення відноситься до утворення комплексу між молекулою-хазяїном (зазвичай більшою молекулою) і молекулою-гостем (зазвичай меншою молекулою) через нековалентні взаємодії. У цьому процесі молекула-гість інкапсулюється або включається в порожнину молекули-господаря, що призводить до стабільної та специфічної молекулярної збірки.

Гідрофобні взаємодії між макромолекулою та захопленими молекулами є домінуючою силою розвитку та стабільності комплексу включення. У харчових системах циклодекстрини широко використовуються для комплексоутворення включень, відіграючи важливу роль у різних застосуваннях, таких як системи доставки ліків, де бажано контрольоване вивільнення та захист замкнучих молекул. Хімічна модифікація циклодекстринів може значно підвищити їх функціональність завдяки наявності кількох реакційноздатних гідроксильних груп. Застосування методу інклюзійного комплексоутворення в молочних десертах і морозиві передбачає введення біологічно активних сполук або функціональних інгредієнтів у продукти для покращення їх текстури, смаку, терміну зберігання та харчової цінності. Цей метод також можна використовувати для інкапсуляції антимікробних агентів, вітамінів, мінералів або інших корисних компонентів для покращення загальної якості та сприйняття споживачами молочних десертів і морозива.

4.12.5. *Процес нанопреципітації*

Нанопреципітація включає використання двох розчинників, які здатні змішуватися. Один із розчинників здатний розчиняти полімер, тоді як інший розчинник не може розчинити полімер. Нанопреципітація зазвичай здійснюється шляхом вливання розчину полімеру в нерозчинник за одну стадію або шляхом додавання однієї фази по краплях в іншу. Коли ці дві фази вступають у контакт, міжфазна турбулентність, викликана дифузією розчинника, призводить до зменшення розміру частинок до нанорозміру. Наночастинки утворюються в результаті агрегації полімерів всередині стабілізованих крапель. Щоб досягти високої швидкості інкапсуляції ліків у цьому методі, необхідно було сприяти спонтанному змішуванню, аби швидко досягти високої швидкості перенасичення. Незважаючи на те, що певні біологічно активні сполуки були успішно нанокапсульовані за допомогою цього методу, основним недоліком його використання в харчових продуктах є необхідність, щоб органічна фаза

відповідала харчовим стандартам. Використовуючи техніку нанопреципітації, виробники можуть покращити загальну якість молочних десертів і морозива, контролюючи розмір і розподіл частинок, що призводить до більш ніжної текстури та кращого смаку. Крім того, цей метод також можна використовувати для додавання функціональних інгредієнтів, таких як протимікробні агенти або підсилювачі смаку, до продуктів, тим самим підвищуючи їх харчову цінність і подовжуючи термін зберігання.

4.12.6. Процес емульгування-випаровування розчинника

Процес емульгування в розчиннику є широко використовуваним методом захоплення активних речовин у полімерній матриці. Цей метод є вдосконаленою версією методу випаровування розчинника. Процес передбачає створення емульсії, потім випаровування розчинника з утворенням твердих частинок або осадження наносфер. Він починається з розчинення основної речовини та полімеру у відповідному органічному розчиннику з утворенням розчину. Потім цей розчин емульгують, додаючи його до безперервної фази, як правило, водного розчину, що містить поверхнево-активну речовину. Процес емульгування може бути досягнутий різними методами, включаючи механічне перемішування, обробку ультразвуком або гомогенізацію. Коли утворюється емульсія, органічний розчинник починає диспергувати в навколишню безперервну фазу, змушуючи полімер тверднути та захоплювати активну речовину ядра. Процес емульгування – випаровування розчинника може впливати на текстурні властивості молочних десертів і морозива шляхом інкапсуляції інгредієнтів, які покращують текстуру. Ця інкапсуляція змінює органолептичні відчуття, що призводить до більш гладкої і ніжної текстури продукту та більш вираженої вершковості морозива. Наявність інкапсульованих біологічно активних сполук також може розширити сенсорний досвід споживачів і сприяти підвищенню якості десертів і морозива. Використовуючи інкапсульовані біологічно активні сполуки з антимікробною дією, молочні десерти та морозиво можуть підвищити

стійкість до патогенних мікроорганізмів, які викликають псування продуктів. Інкапсульовані частинки можуть впливати на взаємодію всередині матриці, що призводить до змін у поведінці потоку та консистенції продуктів.

4.12.7. Системи обробки надкритичних рідин

Надкритична рідина відноситься до речовини, яка може існувати в стані, що перевищує її критичну точку з точки зору температури та тиску. Цей стан може бути як газом, так і рідиною. Надкритичні рідини демонструють поєднання характеристик як рідин, так і газів. Надкритичні рідини використовуються в процесі, який дуже нагадує сушку розпиленням, з метою інкапсуляції речовин, чутливих до змін температури. Процес передбачає розчинення як активного матеріалу, так і полімеру покриття в надкритичній рідині, якою зазвичай є вуглекислий газ (CO_2), з утворенням гомогенного розчину. Надкритична рідина діє як розчинник, дозволяючи біоактивній сполуці та полімеру рівномірно змішуватися. Отриманий розчин проходить розширення через сопло. Це передбачає швидке зниження тиску, оскільки надкритична рідина випаровується через це розширення, а розчинені частинки зрештою випадають в осад, що призводить до утворення бажаної інкапсуляції. Техніка надкритичної рідини для інкапсуляції пропонує кілька переваг, включаючи можливість працювати з термічно чутливими сполуками, можливість маніпулювати та визначати розмір і форму частинок, а також використовувати екологічно чисті розчинники. Системи обробки надкритичної рідини можуть впливати на текстурні властивості молочних десертів і морозива, сприяючи утворенню дрібніших частинок або структур, що призводить до більш гладкої текстури. З точки зору реологічних властивостей, ці системи можуть змінювати характеристики в'язкості та текучості продуктів, потенційно покращуючи їх загальну консистенцію та стабільність. Крім того, використання надкритичних рідин може допомогти підвищити антимікробні властивості шляхом полегшення включення антимікробних агентів у продукти.

4.12.8. Наноліпосоми

Ліпосоми – це самозбірні структури, які в основному складаються з полярних ліпідів, таких як фосфоліпіди (включаючи сфінгомелін), і стеролів. Ці структури можуть мати один ліпідний подвійний шар (одношарові), або кілька ліпідних подвійних шарів (мультиламелярні), що містять воду. Ліпосоми широко визнані як найефективніші системи доставки з використанням ліпідів. Структура їх ліпідного подвійного шару, що нагадує структуру оболонки, ефективно захищає інкапсульований харчовий інгредієнт від розкладання. Однак виробництво наноліпосом потребує значної витрати енергії для диспергування молекул ліпідів або фосфоліпідів у водному середовищі. Наноліпосоми пропонують чудову можливість для інкапсуляції сполук, які є як водорозчинними, так і жиророзчинними. Внутрішня частина наноструктури, яка складається з води, забезпечує ефективну доставку значної кількості вітамінів, розчинних у воді, тоді як гідрофобна область ліпідного подвійного шару може інкапсулювати вітаміни, розчинні в олії. У зв'язку з цим багатошарові ліпосоми вказують на підвищену здатність інкапсулювати більшу кількість бажаних сполук. Застосування наноліпосом у молочних десертах і морозиві може впливати на текстурні властивості, змінюючи структуру та склад, створюючи більш гладку текстуру. Вони також можуть діяти як емульгатори або стабілізатори, допомагаючи створити більш гладку та вершкову текстуру та покращити органолептичні характеристики морозива. З точки зору реологічних властивостей, наноліпосоми змінюють характеристики в'язкості та потоку, покращуючи стабільність і консистенцію. Крім того, наноліпосоми шляхом інкапсуляції протимікробних агентів у свої ліпідні подвійні шари можуть пригнічувати ріст мікроорганізмів, подовжуючи термін зберігання та підвищуючи безпечність харчових продуктів у молочних десертах і морозиві.

4.13. Дослідний завод з виробництва морозива

При розробці нових рецептур морозива або збільшенні виробництва вкрай важливо мати надійну пілотну установку, яка імітує промислові процеси. Це

забезпечує постійні результати та допомагає визначити будь-які коригування, необхідні перед повномасштабним виробництвом.



Рис. 26. Дослідний завод з виробництва морозива [28]

Пілотний завод з виробництва морозива Catta 27 – це спеціалізована установка для невеликого виробництва морозива та випробування рецептури.

Catta 27, Італія, спеціалізується на наданні інноваційних рішень і обладнання для харчової промисловості, зосереджуючись на підвищенні ефективності, якості та стійкості виробництва харчових продуктів у всьому світі.

Розроблений для копіювання промислових процесів, він забезпечує точне масштабування від пілотних випробувань до великомасштабного виробництва. Доступний у двох моделях, K60 і K120, він пропонує виробничу потужність 200 літрів і 300 літрів відповідно. Ці установки оснащені системами конденсації води та використовують холодоагенти R 404A або R 507, що забезпечує ефективний контроль температури. Пілотна установка має електричні характеристики 400 В/3 фази/50 Гц і споживає 60 Нл/хв стисненого повітря при 6 барах. Завдяки

загальній споживаній потужності 23 кВт для K60 і 40 кВт для K120 ці пристрої є надійними та універсальними. Компактні конструкції з розмірами 2485×1300×1300 мм для K60 та 3300×1500×1600 мм для K120 гарантують, що вони підходять для більшості лабораторних або пілотних виробничих середовищ. Catta 27 виробляє ці установки, забезпечуючи високу якість конструкції та надійну роботу.

Переваги:

- точне масштабування від пілотного до промислового виробництва;
- послідовні результати тестування складу;
- ефективний контроль температури за допомогою конденсації води;
- компактний дизайн підходить для більшості виробничих середовищ;
- якісна конструкція від авторитетного виробника.

Питання для самоконтролю

1. Які ключові інновації домінують у виробництві морозива?
2. Які нутрицевтичні компоненти застосовують у виробництві морозива?
3. Що собою представляють пробіотики, пребіотики та симбіотики як добавки до морозива, яка їх роль?
4. Які компоненти, додані до морозива, відіграють роль антиоксидантних речовин?
5. У чому полягає дія таких компонентів, як біоактивні білки, пептиди та амінокислоти, штучно доданих до морозива?
6. Які перетворення відбуваються у морозиві у разі використання протеозо-пептонної сироваткової фракції?
7. Яку роль відіграє молочний жир у складі морозива?
8. З якою метою застосовують підсолоджувачі у морозиві?
9. Яку користь привносять харчові волокна, штучно додані до морозива?
10. Який ефект проявляє додавання порошку зеленого чаю до морозива?
11. Як візуальна привабливість морозива впливає на купівельну спроможність споживачів?

12. Як би виглядало морозиво, якби молочних продуктів не існувало?
13. З якою метою було запроваджено нанотехнології у молочному виробництві?
14. Що таке нанокapsуляція і її призначення?
15. Що таке наноемульсії і їх призначення?
16. Які технологічні комбінації потребує техніка коацервації?
17. Якими особливостями володіє комплексоутворення включення?
18. В який спосіб реалізується нанопреципітація?
19. Яким чином процес емульгування – випаровування розчинника може впливати на текстурні властивості молочних десертів і морозива?
20. Які властивості притаманні надкритичній рідині?
21. В чому полягає призначення наноліпосом у молочному виробництві?

Рекомендована навчальна література

1. Власенко В.В., Головка М.П., Семко Т.В., Головка Т.М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
2. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
3. Кузьмін Є.С. Ефективність інвестицій підприємств молочної промисловості : монографія. Київ : ІАЕ, 2015. 254 с.
4. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О.В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. Режим доступу: <http://library.nuft.edu.ua>
5. Грек О.В., Ющенко Н.М., Осьмак Т.Г. та ін. Практикум з технології молока та молочних продуктів : навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2015. 431 с.
6. Перцевий Ф.В., Терешкін О.Г., Гурський П.В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. За ред. Ф.В. Перцевого, О.Г. Терешкіна, П.В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
7. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологічні розрахунки у молочній промисловості : навч. посібник. Київ : НУХТ, 2013. 343 с.
8. Теличкун В.І., Гавва О.М., Теличкун Ю.С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник. Київ : Сталь, 2017. 456 с.

9. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2013. 502 с.
10. Скарбовійчук О.М., Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А., Федоров В.Г. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник : навч. посібник. МОН України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 311 с.
11. Цехмістренко С.І., Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.

Розділ 5. КЕФІР І СМЕТАНА, ІННОВАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА

5.1. Властивості кефіру і сучасні способи його виробництва

Кефір, кислий пробіотичний побічний продукт, отриманий із кефірних зерен у результаті мікробної ферментації молока або цукрової патоки. Зерна кефіру складаються із суміші бактерій та дріжджів, їх взаємодія з натуральним і рослинним молоком дозволяє виробляти ферментовані харчові продукти. Хімічний, мікробіологічний і харчовий склад кефіру залежить від географічного походження зерен закваски, часу і температури бродіння, типу і об'єму молока. Кефір виробляється традиційним або промисловим способом, де основною різницею між двома процесами є кефірне зерно. Традиційно, таку технологію ще називають крафтовим процесом, кефір у невеликих масштабах виготовляють шляхом інкубації стерилізованого теплом молока або розчину цукру з кефірними зернами при кімнатній температурі до досягнення рН 4,4, а потім шляхом відділення зерен за допомогою стерилізованого пластику. У промислових умовах кефір виробляють або «російським методом», або заквашуванням чистими культурами. У російському способі виробництва кефіру використовується серія ферментацій з посівним матеріалом з першого бродіння зерен, тоді як чистокультурний метод використовує чисті культури, виділені з кефірних зерен. Сучасні дослідження свідчать, що застосування методу *backslopping* – технологічного прийому, який використовується у виробництві ферментованих продуктів, зокрема закваски, ідлі та сиру, – дозволяє збільшити вихід напою у 50 разів без втрати характерних властивостей кефіру.

Ідлі – страва індійської кухні, популярна в Південній Індії, що має вигляд гострих кексів 5–7 см в діаметрі, виготовлених з ферментованого ураду і рису.

Урад, інколи урад-дхал, чорний горошок, чорна сочевиця – вид рослин з роду вігна родини бобові. Використовується людиною в їжу, близькоспоріднений іншим бобовим, особливо *Vigna radiata*.

Для виробництва кефіру як закваску використовують «кефірні грибки», а також штучні закваски. Вважають, що тіло грибка являє собою переплетення нитковидних грампозитивних бактерій; на поверхні грибка в ущільненому шарі знаходяться дріжджі і молочнокислі стрептококи, а у внутрішньому пухкому комірчастому шарі – оцтовокислі бактерії. До складу підібраних для кефіру заквасок уводять молочнокислі бактерії, дріжджі й оцтовокислі бактерії; останні сприяють створенню густої консистенції закваски і кефіру, а також утворенню специфічного смаку.

Відмінною рисою кефіру від інших ферментованих продуктів є використання кефірних зерен. Зерна кефіру дрібні, у формі цвітної капусти, тверді, драглисті гранули від білого до жовтуватого кольору. Склад кефірних зерен різниться в залежності від географічного походження, включаючи кліматичні умови місцевості походження. Желатинова та слизова структура кефірних зерен зумовлена природною огортальною матрицею екзополісахаридів із глюкози та галактози, кефірану та білків, які містять симбіотичні колонії продуцентів молочної та оцтової кислоти (10^5 – 10^8 КУО/г). та дріжджі (10^6 – 10^7 КУО/г). У процесі бродіння відбувається зростання мікробної біомаси, що сприяє формуванню нового покоління кефірних зерен та вивільненню життєздатних клітин у ферментаційний субстрат; ці клітини можуть бути відокремлені шляхом просіювання та використані для наступного циклу бродіння.

5.2. Види кефіру

Молочні кефірні зерна та водяні кефірні зерна є двома типами кефірних зерен. Продукти бродіння цих двох типів мають відмінні фізичні, хімічні, мікробіологічні та функціональні (текстурні, реологічні та органолептичні) характеристики. Молочний кефір потенційно забезпечує значну кількість білка, пребіотиків і пробіотиків для споживачів молочних продуктів, тоді як водний кефір робить те саме для веганів та інших споживачів немолочних продуктів, таких як ті, хто має алергію або непереносимість молочних продуктів.

5.2.1. Молочний кефір (*Mil kefir*)

Mil kefir, продукт бродіння молока з молочними кефірними зернами, є найпоширенішим кефірним продуктом, доступним у всьому світі, і вважається, що походить від кланів Північного Кавказу. Кефірні зерна є невеликими, білими або кремово-білими, напівтвердими гранулами, що складаються приблизно з 86% води та 14% сухої речовини. Вважається, що молочний кефір має значно більший вміст поживних речовин, ніж водний кефір.

Тип молока є важливим фактором у характеристиках кефіру, про що свідчить різниця у в'язкості, концентрації етанолу, сенсорних властивостях і кольорі кефіру з коров'ячого молока та кефіру з буйволиного молока. Вважається, що кефір з верблюжого молока перевершує кефір з коров'ячого молока з точки зору кислого смаку, гострішого аромату, консистенції та зовнішнього вигляду, але високий вміст холестерину в верблюжому молоці може бути шкідливим для споживачів з гіперліпідемією. Виробництво кефіру починається зі змішування двох різних видів молока, традиційно з коров'ячим, включаючи козяче, овече, кобиляче або соєве. Додавання кількох видів молока підсилює властивості кефіру, як видно з змішування кобилячого, козячого та овечого молока, що дає вищу в'язкість, твердість і консистенцію, ніж лише кобиляче молоко.

Поживні компоненти, мікробні клітини, біологічно активні сполуки та метаболіти молочного кефіру мають важливе значення для здоров'я. Вважається, що кефір з козячого молока є дієвим гіпоглікемічним напоєм.

Гіпоглікемія – стан, який виникає при зниженні рівня глюкози в крові нижче 3,2 ммоль/л. Є симптомом певних хвороб, зокрема, порушення роботи підшлункової залози, надмірного призначення інсуліну при цукровому діабеті, тощо.

Пацієнти з atopічним дерматитом спостерігали значне покращення стану шлунково-кишкового тракту та шкіри після прийому молочного кефіру. Молочний кефір сприяє покращенню стану кишкового мікробіома, зменшуючи

кількість патогенних бактерій, пов'язаних із розвитком захворювань (зокрема представників родини Enterobacteriaceae), та водночас підвищуючи біомасу Lactobacillus і Lactococcus, загальну чисельність молочнокислих бактерій і частку Actinobacteria. Такі зміни мікробіоти асоціюються з покращенням метаболічних показників у пацієнтів із порушеннями обміну речовин.

5.2.2. Водний кефір

На відміну від молочного кефіру, водний кефір є ферментованим напоєм на водній основі, який отримують шляхом зброджування розчину, що містить фрукти та/або овочі й джерело цукру, із використанням зерен водного кефіру. Зерна водного кефіру описуються як сіро-білі, напівпрозорі, воскоподібні гранули з жорстким виглядом і дуже рідкісними видимими субодичинними гранулами. Діапазон крупинок водного кефіру зазвичай становить від кількох міліметрів до сантиметрів. Зерна складаються з декстранової матриці, представленої полімером глюкопіранози з α -(1 $\rightarrow$ 6)-зв'язками в основному ланцюзі та бічними відгалуженнями з α -(1 $\rightarrow$ 3)-зв'язками, що формується мікробним консорціумом, до складу якого входять Lactobacillus casei, Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus nagelii, Lactobacillus hordei та Lactobacillus hilgardii.

Виробництво водного кефіру поки що не має стандартизованої процедури, і дуже мало наукової інформації можна знайти про промислове виробництво. Взагалі зерна кефіру на воді з'єднують із сумішшю води, сахарози, інжиру, лимона та ін. Бродіння проводиться в анаеробних умовах протягом 2–4 днів при кімнатній температурі для отримання жовтуватого ігристого напою з солодкими, кислими, фруктовими та алкогольними нотками. Використання фруктів і фруктових соків під час ферментації водного кефіру є перспективним підходом до отримання біозбагачених пробіотичних напоїв. Немолочний напій, придатний для споживачів із непереносимістю лактози, алергіями, а також для веганів, виготовляють на основі водного кефіру та водорозчинного екстракту кокосового

горіха з додаванням інуліну. Окрім того, що водний кефір є немолочним напоєм, він має низку додаткових корисних для здоров'я властивостей. Зокрема, його споживання асоціюється з покращенням показників холестерину в крові, проявом антиоксидантної активності та гастропротекторним ефектом. У дослідженнях на тварин він сприяв покращенню окислення білків і підвищенню активності каталази у мишей, а також демонстрував антидіабетичну та антигіперліпемічну дію, покращуючи масу тіла, рівень глюкози та ліпідний профіль у щурів.

5.3. Користь кефіру для здоров'я

Кефір, як складна суміш різних бродильних мікроорганізмів, має тривалу історію використання для підтримки здоров'я людини. Мікроби, що входять до його складу, виробляють вітаміни та розщеплюють вуглеводи, зокрема лактозу, і білки, утворюючи біологічно активні сполуки, ліпіди, необхідні мікроелементи та вітаміни, включно з B₁, B₁₂, K, фолієвою кислотою та кальцієм. Припускають, що регулярне споживання кефіру сприяє довголіттю жителів Північного Кавказу завдяки його численним корисним властивостям, серед яких антистрессова та протизапальна дія, антихолестериновий ефект, антибактеріальні та протиракові властивості, а також користь для шлунково-кишкового тракту через антиоксидантну активність та модуляцію мікробіоти кишечника.

Нещодавні дослідження показали значний потенціал кефіру як суперпродукту, оцінюючи як його споживання, так і вплив окремих молекулярних компонентів на здоров'я. Так, молочний кефір проявляє гастропротекторний ефект у самців швейцарських мишей перед впливом нестероїдних протизапальних препаратів, що пов'язано з його антиоксидантною активністю. Він підвищує рівень супероксиддисмутази, каталази та коротколанцюгових жирних кислот, одночасно зменшуючи концентрацію гліцеридів та сечової кислоти. Споживання молочного кефіру також підвищує активність остеобластів і знижує активність остеокластів у черепно-

нижньощелепних кістках у моделях, підданих дії дієти з високим вмістом фруктози у вигляді кукурудзяного сиропу.

Водночас водний кефір демонструє протизапальні властивості та пом'якшує дисбіоз у мишачих моделях запалення кишечника. Він зменшує утворення побічних продуктів перетравлення білка та азоту, одночасно збільшуючи чисельність комменсальних біфідобактерій.

Коменсалізм – вид симбіотичної взаємодії між двома живими організмами, коли один з них – коменсал – отримує від другого їжу чи іншу користь, не зашкоджуючи йому, але й не надаючи ніяких переваг.

Біфідобактерії – рід облигатно анаеробних грам-позитивних бактерій, які не утворюють спор і відрізняються гіллястою морфологією.

Було показано, що екзополісахариди кефіру впливають на системне пошкодження, спричинене LPS, що є важливим під час лікування запальних захворювань. Крім того, штами, виділені з молочного та водного кефіру, характеризуються антиоксидантною активністю, відсутністю вірулентних факторів та генів антимікробної резистентності, здатністю до виживання в кислому та жовчному середовищах, а також наявністю генів, відповідальних за синтез вітамінів і γ -аміномасляної кислоти.

Протягом останніх кількох десятиліть пробіотична їжа та напої набули популярності, частково завдяки підвищенню обізнаності споживачів про важливість підтримки здорового кишківника для загального здоров'я організму та здатності запобігати хворобам. Виробництво кефіру можна розділити на два основних види: комерційне та традиційне. Кефір, як правило, виготовляється з коров'ячого молока, але також може бути виготовлений з козячого, овечого, верблужого або соєвого молока. Наявність кефірного зерна під час бродіння є важливою відмінною рисою кефіру від інших кисломолочних продуктів. Замість використання кефірних зерен у промисловому виробництві кефірних продуктів зазвичай застосовують закваски, виділені з кефіру або кефірних зерен, що дозволяє отримувати однорідні та стандартизовані продукти. Ринок кефіру зростає, і різні компанії розробляють багато видів кефіру та продуктів на основі

кефіру, щоб задовольнити потреби споживачів. Найпопулярніші компанії з виробництва кефіру, зокрема Lifeway Foods, Inc., Nestle SA, Danone SA, The Hain Celestial Group, Inc. і Green Valley Creamery, знаходяться в США, Швейцарії та Франції. Незважаючи на те, що традиційно кефір виготовляють з молока, багато компаній пропонують немолочні кефірні продукти, що є привабливими для ширшої споживчої аудиторії.

Одним із найпопулярніших серед споживачів кефірних продуктів є традиційний кисломолочний напій, схожий на рідкий йогурт. У той час як кефір можна виробляти з молочних кефірних зерен, його також можна виробляти з використанням водних кефірних зерен, доданих або до молока, або до іншого типу цукристої рідкої матриці. Немолочні варіанти кефіру отримують з використанням зерен водного кефіру, доданих до немолочного цукристого субстрату, і є альтернативою для споживачів з непереносимістю лактози та веганів. Немолочні субстрати, які використовуються в процесі бродіння кефіру, включають продукти на основі фруктів, такі як кокос, маракуйя і манго, або водні кефірні матриці рослинного походження, включаючи чорний кмин, червоне рисове молоко і молоко волоських горіхів.

Чорний кмин або калінджі — це насіння чорного кольору з терпким, гіркуватим смаком і тонким приємним ароматом.

Хімічний склад готового кефіру залежить від таких характеристик, як тип використовуваного молока або цукрової матриці, кефірних зерен або суміші культур, добавок і технології, що використовується для виробництва. Мікробне співтовариство в кефірі являє собою суміш молочнокислих бактерій (LAB), оцтовокислих бактерій і дріжджів. LAB, які зазвичай зустрічаються в мікробному співтоваристві кефіру, включають *Enterobacter*, *Acinetobacter*, *Lactobacilli*, *Streptococci*, а оцтовокислі бактерії включають *Lactobacillus harbinensis*, *Acetobacter pasteurianus*, *Lactococcus cremoris*. Дріжджі, знайдені в мікробній спільноті кефіру, включають *Saccharomyces*, *Rhodoturula*, *Candida* і *Torulopsis*. Окрім метаболітів молочної та оцтової кислот, інші сполуки, такі як етанол, CO₂, октанова кислота, кефіран, етилдеканоат, етилгексаноат,

екзополісахариди, піруват, пропіонат, сукцинат, фумарат і нонанал, можуть синтезуватися іншими бактеріями, присутніми у кефірних зернах та заквасках. Виробництво ключових метаболітів із закваски кефіру та зерна в кінцевому підсумку сприяє аромату та смаку кефіру. Важливо відзначити, що деяким комерційно виробленим кефірним напоям не вистачає мікробного різноманіття традиційно вироблених кефірних продуктів. Крім того, у багатьох комерційно вироблених кефірних напоях відсутні бактерії оцтової кислоти, які зазвичай надають корисні ефекти. Ще однією важливою відмінністю між комерційно виробленим кефіром та традиційним кефіром є відсутність грибкового співтовариства в комерційних продуктах.

Окрім кефірних напоїв на основі молока та води, інші комерційно доступні кефірні продукти включають сир та кефір у порошку. Виробництво кефіру стикається з багатьма проблемами, зокрема через унікальність і різноманітність мікробів у кефірному зерні, час бродіння та умови зберігання. Однією з проблем, з якою стикається виробництво молочного кефіру, є короткий термін придатності та висока вартість зберігання та пакування. Створення порошку кефіру є життєздатним варіантом продовження терміну зберігання. Найбільш зручним і поширеним методом видалення води та підвищення стабільності пробіотиків при зберіганні є ліофілізація (сушіння сублімацією). Однак це трудомісткий періодичний процес, що призводить до утворення сухого брикету та робить його неекономічним. Для отримання часточок порошку потрібна додаткова стадія обробки. Більш швидким і економічно ефективним методом сушіння є сушіння розпиленням. У процесі сушіння розпиленням рідина розпилюється в спрей крихітних крапель, який потім стикається з нагрітим газом у сушильній камері, де застосовуються три моделі потоку розпилення на основі напрямку входу повітря та безпосередньо в сушильній камері. Застосовуються форми потоку струменю: прямотечія, протитечія та змішана течія. Третя фаза процесу включає висушування утворених часток або крапель з наступним відділенням твердих частинок від повітря, що сушиться. Нарешті, порошок, зібраний у збірній ємності, піддається фасуванню та упаковці.



Рис. 27. Установка LPG-500 для сушіння молока розпилюванням [29]

Однак є деякі недоліки процесу розпилювальної сушки, включаючи зниження життєздатності мікроорганізмів і одночасну втрату смаку та аромату.

Оскільки споживачі стають більш обізнаними про важливість здоров'я кишечника, харчова промисловість прямує до виробництва більш функціональних харчових продуктів, збагачених клітковиною, вітамінами, мінералами або пробіотиками. Це включає створення нових кефірних продуктів з використанням унікальних і нетрадиційних матриць. Наприклад, дослідники з Тайваню зосередили свої дослідження на оптимізації процесу виробництва

кефірної цукерки з максимальною життєздатністю LAB і дріжджів. Інші дослідження були зосереджені на розробці кефірних продуктів, виготовлених із соку аронії, бузини та селери.

Аронія – рід листяних чагарників, родини розоцвітих, родом із східної Північної Америки і найчастіше зустрічається у вологих лісах та болотах. Зазвичай вважається, що рід містить два або три види, один з яких натуралізований у Європі.

Селера належить до групи овочів із високим рівнем вмісту води. Саме завдяки цій якості основний інгредієнт такий соковитий. Селера також є багатим джерелом клітковини, фолієвої кислоти, калію, вітамінів, антиоксидантів. Усе це робить її корисною для кишечника і шкіри, підвищення імунітету та зміцнення всіх систем.

Розробка нових продуктів також включає дослідження методів збагачення веганських кефірних напоїв. При використанні рослинних заміників молока основним обмеженням є відсутність у них багатьох поживних компонентів, що характерні для коров'ячого молока. Для підвищення харчової цінності дослідники та розробники харчових продуктів застосовують мікрободорості як функціональні інгредієнти у різних продуктах та напоях. Примітно, що мікрободорості *Spirulina platensis* були включені в багато харчових продуктів, включаючи продукти, пов'язані з кефіром, як джерело мінералів, вітамінів і амінокислот. Крім того, збагачення ферментованих продуктів *S. platensis* може підвищити функціональні характеристики продукту шляхом сприяння життєздатності пробіотиків.

Традиційні та промислові методи виробництва кефіру відрізняються процесами бродіння та мікробним складом. У той час як традиційне виробництво покладається на кефірні зерна, промислові методи покладаються на закваски для створення однорідної консистенції. У зв'язку з цим у кефірних продуктах можуть виникнути значні проблеми, зокрема збереження мікробного різноманіття, контроль параметрів бродіння та збереження терміну придатності готових продуктів. Відмінний мікробний склад кефірних зерен сприяє їх

унікальній текстурі, смаку та користі для здоров'я. У той час як водний кефір є альтернативою для споживачів з непереносимістю лактози та веганів, молочний кефір відомий своєю поживною цінністю. Проте обидва типи кефірів виявляють антимікробні, антиканцерогенні, протизапальні та антиоксидантні властивості, що робить їх перспективними функціональними продуктами харчування. Промислові кефірні продукти дуже різноманітні, включаючи традиційні кисломолочні напої, безмолочні варіанти та інноваційні рецептури, такі як кефірний сир і порошкоподібні кефірні закваски. Деякі з проблем, пов'язаних з промисловим виробництвом, включають термін придатності, зберігання та витрати на упаковку, а нові методи, такі як сушіння розпиленням, вирішують ці проблеми. Майбутні перспективи включають дослідження нових матриць для бродіння, таких як фруктові соки та рослинні екстракти. Крім того, додавання пробіотиків, вітамінів і мінералів до кефірних продуктів може покращити їхні функціональні властивості, тим самим забезпечуючи здоров'я кишківника та різноманітність раціону споживачів. Безперервні дослідження та інновації все більше висвітлюють потенціал кефіру як функціональної їжі, яка поєднує численні переваги для здоров'я з широкими кулінарними можливостями.

5.4. Сметана

Сметана – це молочний продукт, отриманий шляхом бродіння звичайних вершків певними видами молочнокислих бактерій. Бактеріальна культура, яка вводиться свідомо або природним шляхом, скисає і згущує вершки. Її назва походить від виробництва молочної кислоти шляхом бактеріального бродіння, яке називається сквашуванням. Крем-фреш – один із видів сметани з високим вмістом жиру та менш кислим смаком.

Традиційно сметану виготовляли, даючи вершкам, знятим з верхньої частини молока, бродити при помірній температурі. Її також можна приготувати шляхом сквашування пастеризованих вершків бактеріальною культурою, що виділяє кислоту. Бактерії, що розвиваються під час бродіння, сприяють

загущенню вершків і підвищенню їх кислотності, що слугує природним способом консервування продукту.

Відповідно до правил FDA (США), промислово вироблена сметана повинна містити не менше 18% молочного жиру до додавання наповнювачів та не менше 14,4% молочного жиру в готовому продукті. Загальна кислотність сметани має становити щонайменше 0,5%. До складу продукту також можуть входити сухі речовини молока та сироватки, пахта, крохмаль у кількості до 1%, сіль та сичужний фермент, отриманий із водних екстрактів четвертого шлунку телят, козенят або ягнят, у кількості, що відповідає належній виробничій практиці.

Згідно з канадськими харчовими правилами, як емульгатори, гелеутворювачі, стабілізатори та загусники у сметані дозволяється використання альгінату, камеді ріжкового дерева, карагенану, желатину, гуарової камеді, пектину або альгінату пропіленгліколю (окремо або в комбінації) у кількості до 0,5%, моногліцеридів, моно- та дигліцеридів (окремо або в комбінації) у кількості до 0,3%, а також двоосновного фосфату натрію у кількості до 0,05%.

Сметана не проходить повне ферментування, тому, як і багато інших молочних продуктів, потребує охолодження як до, так і після відкриття герметичної упаковки. Згідно з канадськими нормативними актами, фермент, що згортає молоко, отриманий з *Rhizomucor miehei* та *Mucor pusillus* Lindt шляхом бродіння на чистій культурі або з *Aspergillus oryzae*, може додаватися у виробництво сметани в кількості, що відповідає належній виробничій практиці.

Сметана реалізується з маркуванням дати закінчення терміну придатності на контейнері; формулювання дати («продати до», «найкраще до» або «використати до») визначається відповідно до місцевого законодавства. Невідкрита охолоджена сметана може зберігатися протягом 1–2 тижнів після зазначеного терміну придатності, тоді як після відкриття охолоджена сметана зазвичай зберігається 7–10 днів.

5.4.1. Фізико-хімічні властивості. Інгрєдєнти

Культивовані вершки. Перероблена сметана може включати будь-які з наступних добавок і консервантів: сироватка сорту А, модифікований харчовий крохмаль, фосфат натрію, цитрат натрію, гуарова камедь, карагенан, сульфат кальцію, сорбат калію та камедь ріжкового дерева.

Виробництво сметани починається з нормування жирності, що передбачає контроль наявності бажаної або нормативно допустимої кількості молочного жиру. Мінімальна частка молочного жиру у сметані становить 18%. На цьому етапі до крему можуть додаватися інші сухі інгрєдєнти, зокрема додаткова сироватка.

Також на даному етапі застосовують стабілізатори, які забезпечують однорідну текстуру, формування специфічних гелевих структур та зменшення синерезису сироватки, що сприяє подовженню терміну придатності продукту. Типові стабілізатори включають полісахариди, желатин, модифікований харчовий крохмаль, гуарову камедь та карагенани. Синерезис може проявлятися під час транспортування або інтенсивного перемішування тари зі сметаною.

Наступним етапом виробництва є підкислення: органічні кислоти, такі як лимонна кислота або цитрат натрію, додають до крему перед гомогенізацією для стимулювання метаболічної активності закваски. Після цього суміш короткочасно нагрівають, готуючи до гомогенізації та забезпечуючи подальшу стабільність структури продукту.

Гомогенізація покращує якість сметани за кольором, консистенцією, кремостійкістю та кремоподібністю. Під час гомогенізації більші жирові кульки у вершках розбиваються на кульки меншого розміру, щоб забезпечити рівномірну суспензію в системі. На цьому етапі обробки кульки молочного жиру та білки казеїну не взаємодіють один з одним. Утворення дрібних глобул (розміром менше 2 мікрон) збільшує в'язкість продукту. Також відбувається зменшення відділення сироватки, посилення білого кольору сметани. Після гомогенізації вершків суміш підлягає пастеризації.

Пастеризація – це м'яка термічна обробка вершків з метою знищення будь-яких шкідливих бактерій у продукті. Гомогенізовані вершки піддаються короткочасній високотемпературній пастеризації. При цьому типі пастеризації вершки нагрівають до високої температури 85 °C протягом тридцяти хвилин. На цьому етапі обробки створюється стерильне середовище, в якому можуть процвітати стартові бактерії. Після пастеризації суміш охолоджують до температури 20 °C, ідеальної температури для мезофільної інокуляції. Потім її інокують 1–2% активної закваски. Закваска ініціює процес бродіння, дозволяючи гомогенізованим вершкам досягти рН від 4,5 до 4,8. Молочнокислі бактерії зброджують лактозу до молочної кислоти. Різні LAB впливають на текстуру, аромат і смак, наприклад діацетил. Після інокуляції вершки розкладають по пакетах і ферментують протягом 18 годин, знижуючи рН приблизно з 6,5 до 4,6. Після бродіння відбувається ще один процес охолодження. Після охолодження сметана фасується в кінцеву тару і відправляється на реалізацію.

5.4.2. Фізико-хімічні зміни

Під час процесу пастеризації температура підвищується до точки, коли всі частинки в системі є стабільними. При нагріванні вершків до температури вище 70 °C відбувається денатурація сироваткових білків. Щоб уникнути поділу фаз, спричиненого збільшенням площі поверхні, жирові кульки легко зв'язуються з денатурованим β -лактоглобуліном. Адсорбція денатурованих сироваткових білків, а також сироваткових білків, що зв'язуються з міцелами казеїну, сприяє збільшенню кількості структурних компонентів у продукті; частково саме завдяки цьому формується консистенція сметани. Денатурація сироваткових білків також відома тим, що підвищує силу зшивання в системі вершків за рахунок утворення полімерів сироваткового білка. Коли вершки інокуються заквасочними бактеріями і бактерії починають перетворювати лактозу на молочну кислоту, рН починає повільно знижуватися. Коли починається це зниження, відбувається розчинення фосфату кальцію, що викликає швидке

падіння рН. Під час бродіння рН падає приблизно з 6,5 до 4,6, це падіння рН призводить до фізико-хімічних змін у міцелах казеїну. Казеїнові білки термостабільні, але вони нестабільні в певних кислотних умовах. Колоїдні частинки стабільні при нормальному рН молока, який становить 6,5–6,7, проте міцели випадають в осад при ізoeлектричній точці молока, що становить рН 4,6.

Ізоелектрична точка – характерне для певної речовини значення рН, при якому максимальна частка іонів цієї речовини в розчині набуває нульового електричного заряду. При такому рН речовина найменш рухлива в електричному полі, і цю властивість можна використовувати для очищення та розділення розчинних речовин шляхом електрофорезу. Такий підхід до розділення речовин особливо широко застосовується при роботі з органічними, особливо високомолекулярними, сполуками – амінокислотами, білками, порфіринами тощо.

При рН близько 6,5 міцели казеїну відштовхуються одна від одної через електронегативність їх зовнішнього шару. Під час зниження рН відбувається зменшення дзета-потенціалу – від високого сумарного негативного заряду у вершках до практично відсутнього сумарного заряду при наближенні до ізoeлектричної точки молока. Унаслідок електростатичних взаємодій молекули казеїну зближуються та агрегують, формуючи більш упорядковану структуру, що сприяє утворенню стабільної та міцної гелевої мережі. Денатуровані сироваткові білки, які піддавалися нагріванню під час обробки, стають нерозчинними при кислому рН і випадають в осад разом із казеїном. Взаємодії, що беруть участь у гелеутворенні та агрегації міцел казеїну, це водневі зв'язки, гідрофобні взаємодії, електростатичне притягання та притягання Ван-дер-Ваальса. Ці взаємодії сильно залежать від рН, температури та часу. В ізoeлектричній точці чистий поверхневий заряд міцели казеїну дорівнює нулю, і можна очікувати мінімум електростатичного відштовхування. Крім того, агрегація відбувається завдяки домінуючим гідрофобним взаємодіям. Відмінності в дзета-потенціалі молока можуть бути викликані відмінностями в іонній силі, які, у свою чергу, залежать від кількості кальцію, присутнього в

молоці. Стабільність молока значною мірою обумовлена електростатичним відштовхуванням міцел казеїну. При зниженні рН до 4,0–4,5 міцели казеїну зближуються, агрегують і випадають в осад, досягаючи значень близьких до абсолютного дзета-потенціалу. Після термічної обробки та денатурації сироватковий білок адсорбується на поверхні міцел казеїну, що призводить до підвищення ізоелектричної точки міцел до рівня ізоелектричної точки β -лактоглобуліну (приблизно рН 5,3).

5.4.3. Реологічні властивості

Сметана демонструє залежну від часу тиксотропну поведінку. Тиксотропні рідини зменшують в'язкість під час роботи, і коли продукт більше не перебуває під напругою, рідина повертається до своєї попередньої в'язкості.

Рідина тиксотропна – рідина, в якій при сталій швидкості деформування напруга зсуву зменшується в часі.

В'язкість сметани при кімнатній температурі становить 100 000 сП, (для порівняння: вода має в'язкість 1 сП при 20°C). Тиксотропні властивості, які демонструє сметана, роблять її таким універсальним продуктом у харчовій промисловості.

Сметана зазвичай застосовується як приправа до страв або у комбінації з іншими інгредієнтами для приготування соусів. Її додають до супів і соусів для надання більш густої та кремової текстури, а у випічці – для підвищення вологості виробів порівняно з молоком. У техасько-мексиканській кухні сметану часто використовують як заміник крему у таких стравах, як начос, тако, буріто та такіто.

Питання для самоконтролю

1. Від яких факторів залежить хімічний склад кефіру?
2. Що собою представляють «кефірні зерна»?
3. Що таке молочний кефір?
4. За якими правилами виготовляється молочний кефір?
5. Що таке водний кефір?

6. За якими правилами виготовляється водний кефір?
7. У чому полягає користь кефіру для здоров'я?
8. На які два види поділено виробництво кефіру?
9. З якою метою виготовляють порошковий кефір?
10. Які інгредієнти необхідно додавати до кефіру, щоб вважати його функціональним харчовим продуктом?
11. У чому полягає різниця між традиційними та промисловими методами виробництва кефіру?
12. За яких умов виготовляють сметану?
13. Яким чином на процес формування сметани впливають певні види молочнокислих бактерій?
14. Який відсоток молочного жиру має бути у готовій до продажу сметані?
15. Які наявні компоненти притаманні сметані окрім молочного жиру?
16. З якою метою впроваджують у виробництво гомогенізацію сметани?
17. Які характерні фізико-хімічні зміни відбуваються у вихідних вершках в наслідок виробництва сметани?

Рекомендована навчальна література

1. Грек О.В., Красуля О.О. Молокопереробка. Інновації : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2017. 390 с.
2. Іванов С.В., Грек О.В., Осьмак Т.Г. Молокопереробка. Промисловий інжиніринг : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2017. 275 с.
3. Власенко В.В., Головка М.П., Семко Т.В., Головка Т.М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
4. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
5. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О.В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. Режим доступу: <http://library.nuft.edu.ua>
6. Грек О.В., Ющенко Н.М., Осьмак Т.Г. та ін. Практикум з технології молока та молочних продуктів : навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2015. 431 с.

7. Перцевий Ф.В., Терешкін О.Г., Гурський П.В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. За ред. Ф.В. Перцевого, О.Г. Терешкіна, П.В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
8. Савченко О.А., Грек О.В., Красуля О.О. Актуальні питання технології молочно-білкових концентратів : теорія і практика : монографія. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компринт, 2015. 293 с.
9. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологічні розрахунки у молочній промисловості : навч. посібник. Київ : НУХТ, 2013. 343 с.
10. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2013. 502 с.
11. Скарбовійчук О.М., Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А., Федоров В.Г. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник : навч. посібник. МОН України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 311 с.
12. Цехмістренко С.І., Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.

Розділ 6. СУЧАСНІ МЕТОДИ КОНСЕРВУВАННЯ МОЛОКА

6.1. Консервування молока методом сушіння

Концентрування молочних продуктів широко застосовується в молочному виробництві за рахунок отримання продуктів з високою сухою речовиною, доданою вартістю, зменшеним об'ємом і збільшеним терміном зберігання. Традиційні методи термічного концентрування широко застосовуються в молочній промисловості; проте високі температури можуть руйнувати біоактивні сполуки молока та змінювати фізико-хімічні, сенсорні й поживні властивості концентрованих продуктів. У цьому контексті важливо розглянути альтернативу у вигляді нетеплових процесів концентрування, які дозволяють молочній промисловості отримувати концентровані продукти, зберігаючи білки, ферменти, вітаміни, природний колір і смакові характеристики.



Рис. 28. Вакуумна сублимаційна сушарка молока [30]

Альтернативні методи, такі як заморожувальне концентрування, процеси мембранного розділення та сублимаційна сушка, відображають сучасні підходи до концентрації молочних продуктів без погіршення їх специфічних властивостей та зі збереженням високої якості, що є однією з ключових цілей молочної промисловості. На основі порівняльного аналізу останніх досліджень

цей огляд висвітлює альтернативні технології концентрування, які можуть підвищити продуктивність та якість концентрованих молочних продуктів. Завдяки впровадженню нових екологічно стійких методів і можливості зменшення виробничих витрат, ці технології стають особливо привабливими для молочної промисловості як з технологічної, так і з економічної точки зору.

Молоко – це харчовий продукт з високою харчовою цінністю, який можна переробляти, фракціонувати та додавати до молочних продуктів, напоїв або харчових рецептів. Крім того, молочні продукти виступають як чудові джерела поживних речовин, що приносять користь здоров'ю, якщо включати їх у добре збалансовану дієту. Термічні та нетермічні процеси, що застосовуються у виробництві молочних продуктів, мають основну мету збільшити термін придатності та отримати безпечний, стабільний, поживний та корисний продукт.

Молочні продукти містять високий вміст води, і з метою збільшення терміну придатності процеси концентрації є фундаментальними в молочної промисловості, оскільки застосовувана технологія може підвищити ефективність переробки молока, зменшивши обсяг виробництва та загальні витрати на транспортування та зберігання. Крім того, спостерігається збільшення загальної сухої речовини, що сприяє доданій вартості продукту з високим вмістом жиру та білка. У великомасштабному виробництві молочних продуктів традиційні методи концентрації, зокрема випаровування та сушіння розпиленням, залишаються найбільш поширеними через їхню ефективність у зменшенні вмісту води та стабілізації продукту. Ці операції на агрегаті зменшують вміст води завдяки застосуванню високих температур під час процедури. Однак інтенсивна теплова обробка може перевищити термостабільність молока та призвести до небажаних сенсорних та фізико-хімічних змін, таких як відділення молочного жиру, піщинки, розділення фаз та утворення осаду. Крім того, інтенсивні термічні процеси можуть зменшити вихідні термолабільні біоактивні сполуки, такі як ферменти, вітаміни та білки.

Нові нетермічні технології є багатообіцяючими альтернативами для виробництва молока, які активно досліджуються та впроваджуються. З метою

зменшення негативного впливу традиційних методів концентрації та забезпечення високої якості кінцевого продукту, ці альтернативні процедури дозволяють зберегти сенсорні та смакові властивості молочних продуктів, а також підтримують стабільність харчових пігментів, оригінальних летких сполук, вітамінів, ферментів і білків. Серед сучасних досліджуваних технологій виділяють заморожувальне концентрування, мембранне відділення та сублімаційну сушку, які демонструють високу ефективність та здатність замінити традиційні методи, забезпечуючи виробництво концентрованих молочних продуктів високої якості. Результати таких досліджень можуть надати цінну інформацію для молочної промисловості, дозволяючи застосовувати різні методи концентрації залежно від бажаних властивостей продукту. Кожен з альтернативних процесів має власні методи та процедури, що надає продуктам унікальні функціональні та технологічні властивості.

6.2. Традиційні процеси концентрування у виробництві молока

Для виробництва концентрованих або сухих молочних продуктів існує кілька харчових процесів для видалення рідкої фракції, включаючи традиційні термічні процеси або інноваційні технології. Вибір залежатиме від бажаного впливу процесу на морфологію продукту та ступеня необхідної концентрації.

Сухе молоко – це дрібнодисперсний порошок, що складається з одиничних і агломерованих частинок і являє собою концентрат звичайного коров'ячого молока.

Якість сухого молока значною мірою визначається методом його виробництва, зокрема термічною обробкою, використанням обладнання та технологією сушіння. Правильне дотримання умов виробництва і технологічного регламенту дозволяє зберегти практично всі корисні властивості і смак сухого молочного продукту. При цьому отриманий сухий молочний концентрат відрізняється високою компактністю при транспортуванні і підвищеним терміном зберігання при різних температурних режимах.

В даний час в харчовій і молочній промисловості використовуються такі основні технологічні прийоми видалення вологи з молочних продуктів:

Сушка розпиленням – це спосіб виробництва сухого молока шляхом розпилення сухого молока в гарячу сушильну камеру. Сушильна установка розпилювального типу А1-ОР2Ч (також відома як сушка, сушарка, розпилювальна сушарка молока тощо) призначена для висушування концентрованого незбираного та знежиреного молока, натуральних вершків або вершків із вмістом рослинного жиру, замінників незбираного молока, а також молочних і молоковмісних сумішей із вмістом жиру до 50%. Окрім того, установка ефективна для сушіння концентратів підсирної, сирної, казеїнової сироватки, меланжу, крові та дріжджів. Обладнання використовується на підприємствах молочно-консервної, маслоробної, сироробної та інших галузей агропромислового комплексу й виготовляється відповідно до вимог системи НАССР.



Рис. 29. Установка сушильна розпилювальна А1-ОР2Ч [31]

Сушарка А1-ОР2Ч є прямоточною розпилювальною установкою з відцентровим дисковим розпиленням. Вона має верхнє підведення теплоносія, вертикальну циліндричну сушильну камеру з дном киплячого шару продукту. Після сушіння продукт охолоджується у віброохолоджувачі. Повітря нагрівається за допомогою теплогенератора (парокалорифера), а відокремлення сухої речовини здійснюється через циклони або за допомогою рукавних фільтрів.

Контактна (кондуктивна) сушка – це процес, при якому тепло передається виробу, що висушується, безпосередньо через гарячу поверхню нагрітого елемента.

Випарювання – це концентрування молока або молочних продуктів у багатофункціональних вакуум-випарних установках.

Ліофілізаційне сушіння – видалення з молока до 80% води шляхом заморожування (сублімації) протягом 5–8 годин при температурі нижче -20°C .

Концентрація, сушіння або поєднання цих двох технологій є найбільш енергоємними операціями в молочній промисловості, і з цієї причини загальні витрати на ці процеси концентрації також повинні враховуватися, щоб застосовувати їх у великому масштабі.

6.2.1. Процес випаровування молока

Випаровування молока використовується протягом кількох років, і головною метою цієї унітарної операції є видалення води з розчину для збільшення вмісту розчинених речовин, таких як білки, жир, цукри та мінеральні речовини, у складі молока. Використовуючи високі температури, мета полягає в тому, щоб зосередитися на мінімальних загальних витратах, які включають витрати на енергію та очищення, капітальні та експлуатаційні витрати, а також втрати продукту. Завдяки найнижчим річним капітальним витратам (приблизно 4 млн євро) та високій ефективності концентрації, випаровування вважається найбільш практичним методом концентрування молочних продуктів.

Зазвичай розробка випарників дозволяє концентрувати рідину, щоб протікати через трубу, в якій тепло подається назовні. Рідину нагрівають до точки кипіння при тиску навколишнього середовища (100°C на рівні моря та 85°C на висоті приблизно 5000 м над рівнем моря), і воду відокремлюють від концентрованої фракції. Завдяки високій прихованій теплоті випаровування води, енергоефективність підвищується завдяки використанню кількох ступенів випарників або рециркуляції пари для повторного використання енергії та зменшення попиту на це джерело.

У молочній промисловості процес випаровування зазвичай виконується у випарниках з вертикальною плівкою та довгою трубою. У цьому процесі молоко (близько точки кипіння) рівномірно подається у верхній частині внутрішньої поверхні трубки, яка побудована пліч-о-пліч з іншими трубками, закріплена та закрита сорочкою. Після того, як молоко проходить усередині кожної трубки, утворюючи тонку плівку, воно закипає завдяки теплу, що подається парою. Концентрована рідина відокремлюється в нижній частині обладнання, а частина, що залишилася, видаляється з пари в наступному сепараторі. У випарниках з кількома ефектами концентрована рідина перекачується на наступний ступінь, тоді як пара використовується для нагрівання наступного ступеня.

Перевага випарників з падаючою плівкою полягає в короткому часі перебування рідини всередині обладнання. Крім того, для підвищення енергоефективності цей процес зазвичай виконується в умовах вакууму, що сприятливо впливає на концентрацію молока, оскільки деякі біологічно активні сполуки можуть бути пошкоджені екстремальним впливом тепла. У молочному виробництві процес випаровування використовується як перший крок для концентрування продуктів для сушіння, таких як концентрат сироваткового білка, лактоза або сухе молоко, щоб підвищити стабільність, зменшити обсяг і витрати на виробництво, зберігання та транспортування. Деякі продукти, зокрема згущене молоко, дульсе де лече та традиційне згущене молоко, реалізуються як концентровані рідкі продукти.

6.2.2. Вплив процесу випаровування на склад молочної матриці

Переробка концентрованих молочних продуктів включає кілька етапів, які можуть впливати на стабільність сполук молочної матриці. Через високу чутливість поживних речовин молока до інтенсивних термічних і механічних процесів можуть відбуватися небажані зміни фізико-хімічних, сенсорних або мікробіологічних характеристик молочної матриці та її концентрованих продуктів. Випарники повинні контролювати час і температуру протягом усієї процедури. Інтенсивний тепловий процес випаровування впливає на природний рН молока (приблизно 6,6-6,8), що призводить до зміни сольової рівноваги молока та денатурації білків під час цієї процедури та, як наслідок, до рівня коагуляції. Значне зниження рН під час нагрівання зумовлене, перш за все, кислотою, що утворюється в результаті окислення лактози при високих температурах, гідролізу органічних фосфатних груп і осадження фосфату кальцію. Білки молока прямо і опосередковано взаємодіють з лактозою. Під час будь-якої термічної обробки інтенсивний і тривалий вплив тепла (понад 100°C) призводить до утворення ранніх, а в деяких молочних продуктах небажаних продуктів реакції Майяра зі змінами кольору, текстури та смакових аспектів.

Ізомеризація та термічне розкладання лактози відбуваються паралельно з реакцією Майяра; при цьому утворюються продукти, такі як мурашина та оцтова кислота, а також відбувається окиснення лактози, що призводить до зниження рН молока.

Термостабільність і чутливість молока до рН часто пояснюють наявністю міцел казеїну, утворених кальцієвими містками та зв'язками колоїдного фосфату кальцію за допомогою складного водню, гідрофобних зв'язків та електростатичних взаємодій. Під час термічної обробки молока при температурі нижче 80 °C сироваткові білки денатурують і відбуваються зміни в розмірі та структурі міцел казеїну, зменшуючи кількість іонів кальцію та фосфору, що також призводить до зниження рН через те, що вони залишаються вільними

іонами в сироватковій фракції для подальшої взаємодії під час утворення кислотного згустку. Коагулят, що утворюється внаслідок денатурації сироваткових білків та міцел казеїну, може призводити до теплового забруднення внутрішніх поверхонь випарників, підвищення в'язкості, зниження ефективності теплопередачі та енергоспоживання обладнання. Накопичення білка на контактних поверхнях випарника також створює сприятливе середовище для росту мікроорганізмів, що може погіршувати якість продукту, проявляючись у зміні кольору, смаку та текстури. Розмноження патогенних мікроорганізмів становить потенційну загрозу для здоров'я споживачів, оскільки молочна промисловість несе відповідальність за забезпечення якості та безпеки харчових продуктів на всіх етапах – від переробки до надходження на ринок.

6.2.3. Процес сушіння молока розпиленням

Сухе молоко та сухі молочні продукти представляють глобальний консолідований ринок і викликають особливий інтерес харчової промисловості через їх високу прийнятність і додану вартість. Сухе молоко є зручним рішенням для споживачів, які не мають доступу до належного охолодження, що робить його практичним і доступним для використання. Завдяки функціональним та поживним властивостям молока та високій цінності його компонентів, сухе молоко та інші сухі молочні продукти розглядаються як цінні концентровані інгредієнти для широкого застосування у харчовій промисловості, зокрема у виробництві хлібобулочних і кондитерських виробів, дитячих сумішей, м'ясних продуктів та інших харчових продуктів. На відміну від цього, зберігання свіжого молока обмежене через великі обсяги переробки та потребу в охолодженню зберіганні, транспортуванні та реалізації.

Сушка – це традиційний спосіб концентрування їжі та полегшення логістики, а також збільшення терміну зберігання та стабільності продукту. Основною метою перетворення свіжого молока в сухе молоко є перетворення рідкої швидкокопсувної матриці в продукт, який можна зберігати роками без

втрати фізико-хімічних, мікробіологічних, поживних і сенсорних якостей. Звичайним процесом сушіння в молочній промисловості є сушіння розпиленням і, за визначенням, це перетворення сировини з розчину, суспензії або пасту в концентровану/висушену форму шляхом розпилення цієї рідини в гаряче середовище для сушіння. Для підвищення теплової ефективності процесу сушіння та уникнення перегріву частинок порошку обладнання (розпилювальна сушарка) може складатися з одного, двох або трьох ступенів. На відміну від випарників, у розпилювальній сушарці не відбувається відновлення прихованої теплоти пари. Процес сушіння молочних продуктів споживає до 15% загальних промислових енергетичних витрат. При порівнянні з випаровуванням, енергетичні витрати на сушіння розпиленням становлять у 10–20 разів більше на кожен кілограм видаленої води. Отже, зазвичай перед сушінням проводять первинну концентрацію шляхом випарювання, однак розпилювальне сушіння все ще є найбільш енергоємним процесом у молочній промисловості, і йому приділяється велика увага.

На першому етапі попередньо нагрітий живильний розчин ($< 100^{\circ}\text{C}$) перекачується з резервуара для продукту в диспозитив для розпилення, який містить сушильну камеру. Повітря для сушіння, що складається з відфільтрованого атмосферного повітря, вводиться через гарячу камеру при $150\text{--}250^{\circ}\text{C}$ за допомогою повітряного розсіювача. Розпорошений живильний розчин зустрічається з гарячим сушильним повітрям і відбувається випаровування розчинника, яке проходить одночасно з охолодженням повітря. Концентрований продукт перетворюється на краплі розміром $10\text{--}200$ мкм, і в залежності від розмірів розпилювальної сушарки час перебування висушених частинок становить від 5 до 30 с. Більшість частинок порошку падає на дно сушарки і потрапляє на пневматичний транспорт і систему негайного охолодження, що важливо для збереження кращого смаку, фізико-хімічних характеристик і тривалого терміну зберігання. Частинки з найменшим діаметром залишаються в повітрі і, якщо необхідно, повітря проходить в циклон для відділення твердої

фракції. Після сушіння порошки транспортуються на наступну стадію сушіння або систему пакування.

6.2.4. Вплив процесу сушіння розпиленням на композиційний склад молока

Концентрація молочних продуктів шляхом розпилювального сушіння є традиційною, важливою та економічною операцією завдяки гнучкості в роботі з різними продуктами. Однак необхідність застосування високих температур у процесі сушіння розпиленням може негативно впливати на термолабільні харчові компоненти та сенсорні властивості вихідної матриці, знижуючи її поживну цінність і якість продукту. Крім того, температура повітря для сушіння може впливати на фізико-хімічні властивості сухого молока шляхом зміни розподілу більшості компонентів, морфології частинок, характеристик кольору та активності води. Одним із компонентів твердої фракції, на який найбільше впливає процес сушіння розпиленням, є молочний жир, який диспергований у колоїдній системі з білками, водою та розчинними компонентами. Ароматичні сполуки сухого молока піддаються декільком складним змінам під час обробки, і, саме в умовах розпилювальної сушки, термічна процедура може призвести до пошкодження усадки крапель і вивільнення вільного жиру, який легко окислюється і викликає солодкуватий смак, жирний і вершковий присмак сухого молока. Після процесу сушіння жир концентрується на поверхні частинок незбираного молока, що визначає розмір висушених пластівців і впливає на міжчастинкові взаємодії порошку, іноді призводячи до формування небажаної пастоподібної структури.

Молочний білок також є важливим макроелементом, який можна використовувати як індикатор якості молока після технологічної обробки, а також на нього впливає висока температура розпилювальної сушарки. Дослідниками, які вивчали вплив процесів розпилювальної сушки та сублімаційної сушки на вміст β -лактоглобуліну та лізоциму в осячому молоці, показано, що висока температура, якій піддавали осяче молоко, значно знизила

ферментативну активність лізоциму (58% від залишкової активності) та β -вміст лактоглобуліну (6,43 мг/мл у свіжому молоці проти 5,51 мг/мл у висушеному розпиленнім молоці). Денатурація молочних білків також може спричинити утворення кірки всередині розпилювальної сушарки, знижуючи ефективність теплообміну в обладнанні та блокуючи сопла, спричиняючи низьку якість порошку та вимагаючи переробки продукту.

Доведено також, що фракція лактози відіграє важливу роль у сенсорних, поживних, функціональних і фізико-хімічних властивостях сухих молочних продуктів. Залежно від умов обробки, окрім високих температур, випаровування води, високої концентрації лактози та білків, багатих на лізин, можуть виникати реакції Майяра, що викликає кілька ефектів, зокрема непривабливе утворення меланоїдинів (азотовмісних пігментів), втрату харчової цінності, зміни сенсорних властивостей, наявність сторонніх присмаків та утворення потенційно мутагенних продуктів.

Через швидкі зміни температури та складу вологи в гарячій камері обладнання реакції Майяра в розпилювальних сушарках можуть відрізнятися від реакцій у рідинних системах. Крім того, завдяки прискореній швидкості видалення води структура лактози перетворюється в аморфний склоподібний стан, що є несприятливим для явища кристалізації. Ця форма лактози при високих температурах або вмісті вологи при зберіганні порошкоподібних молочних продуктів розвиває молекулярну рухливість і перетворюється в гумоподібний стан, що відбувається в діапазоні температур, відомому як температура склування (T_g). Якщо зберігання відбувається при температурі, вищій за T_g , рухливість цієї конформації лактози збільшується, а в'язкість зменшується, ініціюючи кристалізацію лактози. Згідно з дослідженнями, продовження реакцій Майяра можна зменшити шляхом вдосконалення конструкції розпилювальних сушарок, а також контролю над процесами концентрації молочних продуктів і всіма зовнішніми змінними та внутрішніми властивостями.

Через ці небажані зміни у фізико-хімічних і сенсорних аспектах концентрованих молочних продуктів, які можуть виникнути в традиційних процесах концентрування, випаровування та розпилювальне сушіння можуть бути замінені новими та альтернативними процесами концентрації завдяки зростанню досліджень харчової інженерії та харчових технологій, розробці альтернативних і нетермічні технології, які забезпечують постійність високочутливих до температури сумішей молока. Останнім часом молочний сектор у всьому світі націлений на якість продукції. Молочні продукти з високою функціональною та поживною якістю стали найбільш бажаним варіантом для споживачів, будучи одним із головних напрямків виробництва. Розробка та дослідження нових методів концентрації харчових продуктів дозволяють підприємствам обирати більш ефективні технологічні підходи, що покращують продуктивність, якість продукту та загальну ефективність виробничого ланцюга.

6.2.5. Імпульсне розпилювальне сушіння молока

Серед інноваційних технологій переробки рідкого молока у сухе особливо виділяється імпульсне розпилювальне сушіння, яке ґрунтується на принципі імпульсного спалювання. Цей метод був вперше відкритий у 1777 році, але широке промислове застосування та активна розробка розпочалися лише в 1970-х роках, зокрема для обробки харчових продуктів. Механізм імпульсного розпилювального сушіння детально описаний у науковій літературі, при цьому тип камери згоряння Гельмгольца є найпоширенішим у промислових установках. Спочатку суміш палива й повітря надходить у камеру з впускного клапана, де вона запалюється, що призводить до збільшення тиску, який закриває клапан. Гарячі гази згоряння розширюються назовні до вихлопної труби, і тиск зменшується, всмоктуючи всередину деякі гази та знову відкриваючи клапан. Свіжа суміш (повітря і паливо) надходить і самозаймається при контакті з рештою продуктів згоряння попереднього циклу. Усе це призводить до звукової хвилі, яка виходить із камери згоряння через вихлопну трубу, де вона контактує

з продуктом, який потрібно висушити. Імпульси, пов'язані з горінням, потім розбивають вихідний продукт на дрібні краплі для подальшого сушіння. Продуктивність імпульсного розпилювального сушіння залежить від швидкості подачі суміші паливо/повітря, природи палива, характеристик продукту живлення та довжини вихлопної труби. Повідомляється, що імпульсне розпилювальне сушіння має кілька переваг перед системами безперервного спалювання:

- швидкість масообміну та тепла інтенсифікується зі збільшенням теплової ефективності до 40%;
- час перебування сировини менший (мілісекунди), що дозволяє застосовувати вищі температури;
- зменшення викидів забруднюючих речовин (NO_x, CO та SO_x);
- це підходить для термочутливих і в'язких сполук і зменшує простір, необхідний для обладнання.

Імпульсне розпилювальне сушіння було успішно протестовано на різних матеріалах, таких як ліки, порошок на основі оксиду цирконію та цинку, деревина та щільний папір, харчові відходи, яєчний білок або розчини мальтози. Під час процесу сушіння високі температури можуть викликати денатурацію сироваткових білків і можуть викликати зміни фізичних і функціональних властивостей отриманого порошку (наприклад, структура частинок, розподіл частинок за розміром, сипучість, об'ємна щільність або розчинність). Згідно з повідомленнями, порошок яєчного білка, отриманий методом імпульсного розпилювального сушіння при температурі виходу 76,6 °C, характеризується дрібнішими частинками, більш білим кольором та покращеними поверхневими властивостями порівняно з аналогічним порошком, висушеним за звичайних умов. Проте дослідження, присвячені застосуванню імпульсного розпилювального сушіння до різних харчових матриць, залишаються обмеженими, і, наскільки відомо, досліджень із застосуванням цього методу до знежиреного молока досі не публікувалося. У зв'язку з цим, дане дослідження ставило за мету усунути цю прогалину шляхом порівняння фізико-хімічних

властивостей сухого знежиреного молока, отриманого методом імпульсного розпилювального сушіння, із традиційним розпилювальним сушінням, проведеним за різних температур виходу (70, 80, 90 і 100 °С).

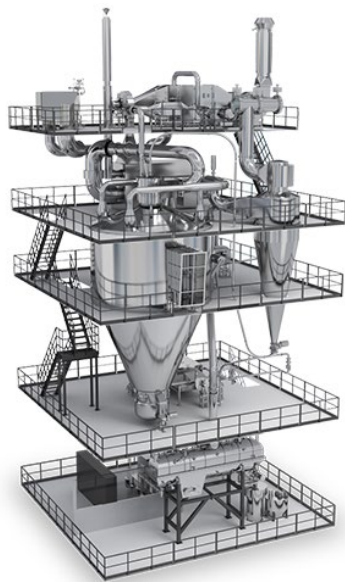


Рис. 30. Установа сушіння молока імпульсним розпилюванням [32]

У науковій літературі вже описано особливості імпульсного розпилювального сушіння. Підвищення температури на виході супроводжувалося зменшенням вмісту води та насипної щільності порошку без істотного впливу на його розчинність і вміст нативних сироваткових білків. Хоча між технологіями сушіння спостерігалися відмінності за показниками жовтизни та індексу потемніння, загальний вплив на зовнішній вигляд зразків залишався незначним. Крім того, імпульсне розпилювальне сушіння демонструє покращені показники сипучості, при цьому розчинність сухого молока перевищує 98%. Аналіз розподілу частинок за розміром і результати мікроскопії для традиційного та імпульсного розпилювального сушіння свідчать про наявність дрібних частинок, які впливають на змочуваність і текучість порошку, що підтверджується значеннями коефіцієнта Гауснера (показника плинності

гранул) та індексу Карра (характеристики стисливості). Тенденція до агрегації частинок спостерігалася за нижчих температур сушіння; відповідно, температури вище 80 °C для імпульсного розпилювального сушіння та понад 100 °C для традиційного розпилювального сушіння є більш доцільними. Попри складність прямого порівняння цих технологій через різні конфігурації та розміри сушильних установок, результати свідчать, що після оптимізації імпульсне розпилювальне сушіння здатне забезпечити отримання сухого знежиреного молока з концентрату знежиреного молока із загальною якістю, співставною з продуктами, виготовленими традиційним розпилювальним сушінням, але з нижчими енергетичними витратами.

6.3. Альтернативні процеси концентрування у виробництві молока

Молочна промисловість приділяє зростаючу увагу нетрадиційним процесам концентрації як способу зменшення негативного впливу традиційних технологій обробки. Нетермічні методи дозволяють максимально зберігати біологічно активні сполуки молока та отримувати концентровані продукти високої якості, поживної й функціональної цінності із збереженими сенсорними характеристиками, що сприяє підвищенню загальної ефективності виробництва. Сучасні наукові досягнення підтримують впровадження нових технологій у молочній галузі з урахуванням особливостей виробничих потоків, технологічних режимів і типів продукції. Альтернативні методи концентрації забезпечують формування продуктів зі специфічними властивостями, притаманними кожній технології, що стає важливим чинником вибору для промислового сектору при масштабному застосуванні.

6.3.1. Концентрування замороженням

Процес концентрування заморожуванням – це технологія нетермічного концентрування, яка застосовується в рідких харчових продуктах і заснована на розділенні твердої фракції та рідини за низьких температур, при цьому водна

фракція заморожується, перетворюється на чисті кристали льоду та видаляється з концентрованого розчину. Цей метод можна використовувати для концентрування або попереднього концентрування термочутливих сполук, що є цікавою альтернативою для виробництва молочних продуктів завдяки збереженню поживної цінності, легких сполук і смаку молочних продуктів. Заморожені концентровані молочні продукти можна використовувати в різноманітних харчових рецептах або як проміжну матрицю при переробці молока.

Цей процес заснований на зниженні та контролі температури розчину нижче точки замерзання, щоб уникнути одночасного замерзання всіх компонентів у точці евтектики. Чистота кристалів льоду підвищується при контрольованому заморожуванні вище евтектичної точки розчину, зберігаючи всі властивості вихідної рідкої матриці. Зазвичай верхня межа концентрації заморожування, що стосується вихідної рідкої сировини (наприклад, молока), становить від 40 до 50% вмісту твердих речовин, залежно від рівня розчинних твердих речовин і складу харчової матриці. Оскільки цей процес не передбачає межі рідина-пар, відбувається максимальне збереження термолабільних сполук, що підвищує якість концентрованого продукту. Крім того, з термодинамічної точки зору концентрація заморожування є дуже цікавою, оскільки споживання енергії є нижчим у порівнянні з процесами випаровування та сушіння розпиленням.

Прихована теплота замерзання води становить майже одну сьому від прихованої теплоти випаровування води ($335 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ проти $2260 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$), що є потенціалом енергозбереження для зневоднення рідких харчових продуктів. У методах концентрування заморожуванням економія енергії також може бути пов'язана з можливістю використання пасивного розморожування як етапу відновлення концентрованої фази, що підвищує енергоефективність і якість концентрованих продуктів. Оскільки вихід концентрату невисокий порівняно з іншими методами концентрування, відокремлення замороженої води від розчину концентрату можна проводити одноразово або через кілька послідовних етапів

заморожування в одній і тій самій рідкій їжі. Ця процедура, яка збільшує вміст розчинних твердих речовин, залежатиме від початкового складу рідкої матриці, бажаної мети та виходу кожної стадії концентрування заморожуванням. У технології концентрування заморожуванням кристали льоду можна утворювати з рідких розчинів різними методами: суспензійним, прогресивним і блоковим концентруванням заморожуванням, з різними методами заморожування та відділенням кристалів льоду.



Рис. 31. Установка для кріоконцентрування рідких харчових продуктів [33]

Концентрування суспензії заморожуванням є найбільш складним і розширеним методом концентрування заморожуванням, заснованим на утворенні окремих кристалів льоду при подачі рідкої матриці за низьких температур. Відбувається початкова фаза кристалізації, і кристали льоду перетворюються у великі частинки льоду, збільшуючи об'єм, а на другій фазі ядра льоду ростуть усередині розчину. Розмір цих кристалів льоду обмежений, а виділення концентрату є складним із використанням типового обладнання для певних цілей. Система складається з кристалізатора (теплообмінника), який сприяє росту кристалів. При температурі попереднього заморожування рідка матриця охолоджується та просувається до кристалізатора з утворенням кристалів льоду, які видаляються з фракції концентрату всередині сепаратора.

Залишки замороженої чистої води відокремлюються від концентрованої рідини в промивній колонії зі стисненням для обробки кристалів льоду високої чистоти.

Концентрація шляхом поступового (прогресивного) заморожування є одним із важливих методів концентрування рідких харчових продуктів і ґрунтується на шаровій кристалізації, під час якої на охолодженій поверхні формується масивний шар льоду. Такі кристали льоду легко відділяються від концентрованої рідкої фази завдяки їх адгезії до холодної поверхні. Процес характеризується відносною технологічною простотою та має розроблятися з урахуванням специфічних властивостей рідкої сировини, необхідної частки концентрату та кінцевого виходу продукту. Низькі експлуатаційні витрати, помірна вартість обладнання та технічного обслуговування роблять цей метод перспективним для великомасштабного застосування і потенційною альтернативою більш складній концентрації кристалізацією у суспензії. Ефективність цього типу концентрації заморожування підтверджена дослідженнями з розділення та концентрування молочних продуктів, технології яких були адаптовані відповідно до особливостей молочної матриці та виробничих потреб. Для знежиреного молока вперше було запропоновано систему прогресивної концентрації заморожуванням, що продемонструвала ефективність методу, забезпечуючи енергетичні переваги порівняно з суспензійним заморожуванням та збереження поживної цінності концентрованого продукту. У цій експериментальній вертикальній системі рідку матрицю поміщають у резервуар із перемішуванням із сорочкою охолодження. Низька температура викликає утворення шару льоду на охолоджувальних стінках резервуара, і застосовується механічне перемішування, щоб зменшити накопичення розчиненої речовини у фракції льоду.

У техніці *блокового концентрування заморожуванням* рідкі продукти заморожують і частково розморожують за допомогою методу гравітаційного розморожування для відділення льоду та концентрації фракцій. При контрольованій температурі блок льоду працює як тверде тіло, і за допомогою явища дифузії концентрат зливається. Щодо всіх методів концентрації

заморожуванням, ця техніка є багатообіцяючою завдяки простоті експлуатації, більш простому обладнанню та нижчій загальній вартості, з різноманітними застосуваннями та дослідженнями в молочному секторі.

6.3.2. Вплив процесу концентрування заморожуванням на фізико-хімічні властивості молока

Дослідження та розробка обладнання щодо концентрації заморожування молочних продуктів дозволили отримати знання про ефективність молочних рідин за низьких температур, вплив на фізико-хімічні властивості молока та вплив на поведінку основних компонентів, таких як осадження лактози, конформація білка та дисперсія жиру як у концентраті, так і у фракції льоду.

Під час концентрування спостерігається збільшення вмісту розчинних твердих речовин у концентрованій молочній фракції з тенденцією до збільшення в'язкості концентрату. Висока концентрація казеїнів і їхнє подальше зневоднення спричиняє збільшення об'єму міцел і взаємодію між міцелами, що сильно впливає на в'язкість молока. Будь-який хімічний або фізичний вплив, а також концентрація, які можуть змінити агрегатний стан міцел казеїну, безумовно, змінять в'язкість молока. Зі збільшенням в'язкості знижується здатність до відокремлення концентрату від льодової фракції, що обмежує ефективність процесу концентрування. Крім того, високий вміст розчинних у молоці сухих речовин (білків, жиру або лактози) може впливати на кристалізацію та розвиток чистих кристалів льоду, впливаючи на ефективність етапу розділення та обмежуючи явище тепло- та масообміну.

Альтернативні дослідження з використанням попередньої обробки для видалення жиру з незбираного молока або направлення знежиреного молока на концентрацію заморозки були проведені для зменшення впливу жиру під час концентрації та підвищення ефективності відділення кристалів льоду. Порівняно зі знежиреним молоком, вміст жиру в молочній матриці підвищує стійкість до видалення фракції льоду з концентрованого незбираного молока завдяки

взаємодії/адсорбції казеїну з жировими кульками. Ця взаємодія відповідає за утворення великих частинок і наявність згустків, які заважають відокремленню кристалів льоду. Крім того, фракція молочного жиру також може впливати на розподіл лактози в процесі концентрування, керуючи високим вмістом лактози у фракції льоду, яка містить більшість гідрофільних сполук.

Колір молока є одним із фізичних параметрів, які найбільше впливають на сенсорне сприйняття, головним чином білизну. У процесі концентрування заморожуванням можна покращити білизну та яскравість відповідно до конформації казеїнів у концентраті. Порівняння фізико-хімічних параметрів знежиреного сухого молока, отриманого традиційними методами концентрування (випарювання), та альтернативними процесами перед сушінням, такими як концентрація заморожуванням, показало, що продукти після попередньої концентрації заморожуванням характеризуються високою яскравістю, доброю плинністю та підвищеною термостабільністю. Високу білизну і яскравість можна пояснити агрегацією денатурованих сироваткових білків і міцел казеїну, що утворюють великі частинки. Порівняно з традиційним випаровуванням значні відмінності можна пояснити високими температурами, задіяними в цьому процесі, що спричиняє утворення меланоїдинів або продуктів реакції Майяра із типовим карамельно-коричневим кольором.

Процес концентрації заморожуванням легко інтегрується у виробництво молока для отримання стабільних концентрованих продуктів із високим вмістом сухої речовини без необхідності додаткового збагачення білками сироватки, сухим молоком або іншими добавками для покращення кольору. Дослідження показують, що така концентрація є ключовою технологією для забезпечення оптимальної текучості, в'язкості та легкості морозива, виробленого з концентрату знежиреного молока, при можливості заміни частини сироваткового концентрату. Крім того, високий вміст сухої речовини в концентраті сприяє підвищенню концентрації поживних речовин та створює сприятливий субстрат для розвитку пробіотичних клітин, забезпечуючи високу якість і функціональну цінність кінцевого продукту.

6.4. Процес мембранної сепарації молока

Мембранна сепарація – це нова технологія обробки харчових продуктів, яка може забезпечити збереження молока за низьких температур, збільшуючи термін зберігання. У молочному виробництві цей популярний процес розділення можна використовувати для покращення мікробної якості молочних продуктів і збереження поживних і функціональних властивостей біоактивних сполук молока.

Порівняно з традиційними процесами сепарації мембранна технологія має перевагу завдяки роботі при помірних температурах, тиску та високій селективності під час процедури, що не змінює органолептичних показників молочних продуктів. Крім того, на відміну від звичайних методів, мембранна сепарація є дуже привабливою альтернативною технологією, оскільки необхідна температура не передбачає зміни фази розчинника, що збільшує економію енергії в цьому процесі концентрації та є енергоефективною альтернативою концентрації молочних продуктів. Принцип цього процесу відбувається подібно до системи фільтрації під тиском з мембранами (тонкою плівкою) для розділення двох розчинів, які діють як селективний бар'єр. Розділення базується на проникненості пор мембрани, розділяючи тверді речовини, що не змішуються, і розчинні тверді речовини, а системи розділення розробляються відповідно до напрямку потоку живлення, який може бути тангенціальним або перпендикулярним. Коли рідина проходить через мембрану в одному напрямку, може статися закупорка пор.

З іншого боку, у тангенціальній системі є два напрямки струму, що проходить через мембрану: один тече паралельно мембрані, видаляючи захоплені тверді речовини, а інший очищений, який проходить через неї. У цій системі паралельний потік сприяє видаленню частинок, які можуть закупорити пори мембрани. Після проходження через пори рідка матриця поділяється на дві фракції: пермеат або мікрофільтрат, тобто рідина, що проходить через пори, і ретентат. Ця фракція містить більш високу концентрацію твердих частинок, які

мають більший розмір, ніж діаметр пор мембрани. Селективність у розділенні залежить від умов процесу та типу мембрани, залежно від розміру пор і молекулярної маси. Процедуру розділення можна класифікувати як мікрофільтрацію (MF), ультрафільтрацію (UF), нанофільтрацію (NF) і зворотний осмос (RO).

У молочному виробництві, окрім використання для розділення твердих компонентів молока, MF широко застосовується для зменшення мікробіологічних показників, завдяки найбільшому розміру пор (0,1–10 мкм) і найнижчому тиску процесу (0,01–0,2 МПа). Відповідно до конкретного розміру пор, міцелярні казеїни (50–500 нм), сироваткові білки (3–6 нм), лактоза (1 нм), мінерали та вода можуть проникати через мембрану, тоді як жирові кульки (10 мкм) відокремлюються, і бактерії (10–100 мкм), спори (1 мкм), соматичні клітини видаляються. Мікрофільтрація є важливим етапом для забезпечення безпеки харчових продуктів, оскільки вона видаляє спори мікроорганізмів, які не були інактивовані під час пастеризації або стерилізації молока. Крім того, цей процес подовжує термін зберігання продукту, адже соматичні клітини можуть спричиняти ліполітичні та протеолітичні реакції, що негативно впливають на сенсорні характеристики, колір, смак і консистенцію молочних продуктів.

Для процесів ультрафільтрації (UF) розмір пор коливається від 10 до 100 нм, процес реалізується при тиску від 0,1 до 1,0 МПа, а в концентрації молока білки та жирова фракція зберігаються, створюючи ретентат багатий сухою речовиною, який можна використовувати у виробництві концентрованих продуктів з високою доданою вартістю. Пермеат складається з води, мінералів і лактози, які можна виділити та очистити.

NF (розмір пор 1–10 нм і тиск 1,5–3,0 МПа) – це метод фракціонування з концентрацією речовин, що мають молярну масу від 100 до 1000 Да (г моль⁻¹), і застосовуються для обробки сироватки в порядку для збільшення вмісту білка.

RO – це метод концентрування з меншим розміром пор (< 1 нм) і вищим тиском обробки (3,0–5,0 МПа), що пов'язано зі збільшенням стабільності та терміну зберігання сироваткових концентратів.

6.4.1. Вплив процесів мембранної сепарації на видалення непродуктивних компонентів в молочних продуктах

Мембранні сепараційні системи при обробці під високим тиском стали цікавою альтернативою концентрованим молочним продуктам, оскільки ця технологія, окрім дії на видалення патогенних мікроорганізмів і спор, дозволяє зменшити втрати поживних речовин, зберегти максимум властивостей молока, дозволити високу швидкість потоку та підвищити продуктивність. Розділення фракції молочного білка (казеїнів і сироваткових білків) привертає значну увагу виробників молочних продуктів і напоїв завдяки його унікальному білковому профілю та функціональності. Технології мембранної сепарації, зокрема мікрофільтрація (MF) та ультрафільтрація (UF), є перспективними у сироварінні, оскільки дозволяють отримувати мікро- або ультрафільтроване молоко, яке можна використовувати для стандартизації вмісту білка, а також для покращення текстури і підвищення виходу сирів. У виробництві сиру Рессоріно з ультрафільтрованого овечого молока, ультрафільтроване молоко забезпечило майже чотириразове збільшення вмісту білка (37%) і жиру (29%), збільшивши вихід сиру на 17%. Крім того, час і помірна температура процесу ультрафільтрації (22°C протягом 30 хв) можуть сприяти розвитку молочнокислих бактерій для кисломолочних продуктів.

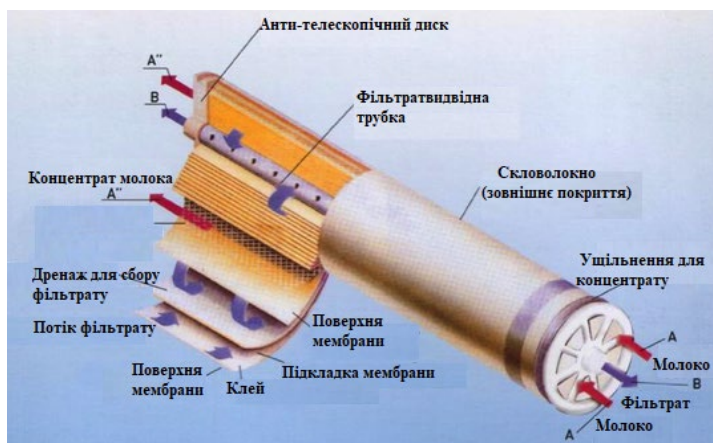


Рис. 32. Мембранний фільтр рулонний [34]

У пермеаті мінерали та фракція лактози можуть постраждати через взаємодію з білком та його відкладення на поверхні мембрани. Відповідно до конкретного розміру пор, ці взаємодії призводять до утворення шару гелю, який закупорює пори та створює опір проходженню води, мінералів і лактози, яка містить низьку молекулярну масу. Серед мінералів лише дві третини, зв'язані з міцелярними білками (зазвичай фосфатом кальцію), залишаються в мембрані, тоді як розчинні проникають через неї. Мінерали, що переходять із фракції сироватки через взаємодію або у вигляді вільних іонів та солей, можуть впливати на функціональні властивості пермеату, його буферну здатність та, відповідно, на процес виробництва сиру. Крім того, температура під час мембранного розділення визначає розподіл компонентів та фізико-хімічні властивості молока. Мікрофільтрація (MF) знежиреного молока проводилась при 4, 8 та 12 °C. Потреби в механічній та тепловій енергії під час MF сильно залежать від температури обробки: при 4 °C – 27,6 кВт·год, при 8 °C – 24,6 кВт·год, а при 12 °C – $22,9 \cdot 10^{-3}$ кВт·год. Найвищі витрати енергії для ультрафільтрації (UF) при 4 °C пояснюються високою в'язкістю та виділенням тепла під час перекачування, що ускладнює підтримку низької температури. Що стосується білкового складу, забруднення мембрани міцелами казеїну призводило до зниження концентрації β -казеїну, β -лактоглобуліну та α -лактальбуміну в пермеаті протягом усього процесу MF. Проте дисоціація β -казеїну у фракції сироватки під нижчими температурами вища, що дозволяє збільшити його частку у пермеаті при 4 °C. Таким чином, MF за низьких температур забезпечує виробництво молочних потоків нового покоління з модифікованими білковими фракціями, придатними для створення продуктів із покращеними функціональними властивостями.

Під час протікання молока через мембрани прикладений тиск мінімально впливає на вміст білка та жирових кульок у порівнянні з концентрацією в процесах із високими температурами та механічними впливами. Необхідно контролювати процес, щоб підтримувати належне функціонування мембран через можливе утворення кека на поверхні або блокування пор, викликане розміром міцел казеїну. Згідно з дослідженнями, сироваткові білки

пастеризованого знежиреного молока ($> 78\text{ }^{\circ}\text{C}$) можуть денатурувати та утворювати агрегати з мінералами або можуть прилипати до міцел казеїну, закупорюючи пори мембрани. Ця проблема може вплинути на осад і змінити композиційні властивості пермеату та ретентату, який не міститиме міцел казеїну, а буде продуктом, подібним до концентрату молочного білка через співвідношення казеїну та сироваткового білка. Нещодавно були проведені дослідження щодо зменшення забруднення мембрани, викликаного міцелами казеїну під час ультрафільтрації молока. Біполярний мембранний електродіаліз був поєднаний з ультрафільтрацією, що дозволило виробляти іони H^+ і OH^- з води під дією електричного струму. Молоко підкислюється в модулі електродіалізу, і казеїни осаджують і відокремлюють від сироваткових білків без замічення. Крім того, основу, створювану біполярною мембраною, можна застосовувати для перетворення нерозчинних міцел казеїну в їх розчинну форму казеїнатів без використання хімікатів і вважається більш екологічно стійким процесом. Також розроблено стійкі стратегії для застосування в ультрафільтрації та нанофільтрації сироватки, з утриманням невідкисленого пермеату сироватки перед подальшим застосуванням та зменшенням цього основного побічного продукту, що утворюється в молочній промисловості. Незважаючи на те, що забруднення мембран є рецидивуючим, ці альтернативні дослідження можуть підвищити ефективність процесу мембранного розділення, який наразі є однією з нових технологій із великим потенціалом для заміни традиційних методів концентрації молочних продуктів у великих масштабах.

6.5. Ліофільна сушка

Технологія сублімаційної сушки, або ліофілізація, є процесом концентрування, заснованим на явищі водної сублімації харчової композиції. При низьких температурах водна фракція відокремлюється від їжі шляхом кристалізації нижче її потрійної точки ($0,01^{\circ}\text{C}$), а потім безпосередньо перетворюється з твердого стану в парову фазу під високим тиском (приблизно

611 Па). Концентрація при температурах замерзання обмежує пошкодження термолабільних сполук і є вигідною технологією для збереження смаку, аромату та кольору порівняно з іншими методами концентрації, а також є цікавою альтернативою концентрованим молочним продуктам, забезпечуючи підвищення їх якості.



Рис. 33. Сублімаційна сушарка для молока – ліофілізатор [35]

Ринок ліофілізованих продуктів демонструє стабільне зростання; водночас важливо зменшити високе енергоспоживання цього процесу, яке коливається в межах $3820\text{--}5500 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$, що є найвищим серед усіх методів концентрації. Порівняно зі звичайним сушінням, яке зневоднює харчові продукти в одну стадію, час сублімаційного сушіння довший і споживає велику кількість енергії (майже вдвічі, щоб видалити 1 кг води). Крім того, енергія потрібна для заморожування їжі, підтримки високого тиску, сублімації кристалів води та конденсації водяної пари. Цей процес концентрації стає експансивним і зазвичай застосовується в продуктах з високою доданою вартістю і робить переробку звичайних і доступних концентрованих продуктів неможливим.

Конструкція сублімаційної сушарки складається з чотирьох основних компонентів: сушильної камери, вакуумного насоса, джерела тепла та конденсатора. Для переробки молока стає звичним застосування вакуумної

сублімаційної сушарки. У цьому методі заморожування можна здійснювати безпосередньо в сублімаційній сушарці або іншому обладнанні, яке робить цей етап можливим. Вакуумна система являє собою комбінацію водяного циркуляційного насоса та насоса з масляним ущільненням. Під час початкової стадії вакуумного процесу повітря видаляється високопотужним масляним насосом, що призводить до зниження тиску. Після цієї процедури вакуум підтримується малопотужним насосом. Щоб фракція замерзлої води змінила стан, переходячи з твердого стану безпосередньо в пару, необхідна система нагріву, щоб підвищити температуру та запобігти переходу з твердої фази в рідку. У цій системі він може містити пластини з циркуляцією пари або гарячої води при 120°C. Охолодження для конденсації пари обладнано системою з циркуляцією рідкого холодоагенту на пластинах позаду або з боків сублімаційної сушарки.

6.5.1. Вплив процесу сублімаційної сушки на склад молочних продуктів

У зв'язку з постійним споживчим попитом на харчові продукти з більш високою функціональною та поживною якістю, рецептуру харчових продуктів було адаптовано із заміною натуральних компонентів сублімованими продуктами. Як і інші новітні технології, сублімаційне сушіння на додаток до концентрування харчових продуктів також можна вважати методом збереження харчових продуктів. Завдяки низькій активності води затримується розвиток мікробів і ферментативне окислення, що дозволяє концентрованому продукту зберігатися тривалий час при кімнатній температурі. Крім того, особливо у молочному виробництві, використання низьких температур під час концентрації дозволяє зберегти колір і смак продукту. Перше дослідження впливу сублімаційного сушіння на метаболіти сирого молока було запропоновано дослідниками з Китаю. Щодо вмісту деяких органічних кислот, амінокислот і дипептидів, були виявлені незначні зміни, однак було показано, що ці зміни

можуть статися в результаті неповного процесу повторного розчинення ліофілізованого сухого молока, а не заморожування. Концентрація оротової кислоти, жирної кислоти, яка природно зустрічається в сирому молоці, була стабільною після обробки сублімаційним сушінням.

Оротова кислота – вітаміноподібна речовина, що впливає на обмін речовин, але не володіє всіма властивостями, характерними для вітамінів. Являє собою безбарвні кристали, погано розчинні у воді та органічних розчинниках.

Через низькі температури зберігання (4°C і -20°C) метаболіти майже не змінювалися при зберіганні в морозильній камері протягом тривалого періоду, що пов'язує сублімаційне сушіння як ефективний метод концентрації та збереження концентрації молока з мінімальними змінами метаболітів. Вплив на склад молока також було визначено шляхом порівняння сухого верблюжого молока, отриманого шляхом сублімаційної сушки, з традиційним методом розпилювальної сушки. Згідно з дослідженням, ліофілізоване сухе верблюже молоко продемонструвало найвищу здатність до диспергування (67,15%) та розчинність (88,77%). Такі показники пояснюються тим, що процес ліофілізації забезпечує легшу структуру продукту порівняно з іншими методами сушіння.

Низький вміст твердої речовини під час сублімаційного сушіння призводить до утворення пористих частинок через значне видалення води на етапах сушіння. Ліофілізоване сухе верблюже молоко продемонструвало найнижчу кислотність порівняно з методом розпилювального сушіння (0,193% проти 0,211%), що зменшує ризик осадження мінералів, розпаду лактози та небажаних реакцій Майяра, які можуть спричинити значне і необоротне зниження рН. Високі температури при розпилювальному сушінні також знижують вміст кальцію та заліза у сухому молоці (0,011–0,012 г/кг проти 13,71–15,33 г/кг при ліофільній сушці), підкреслюючи важливість застосування ліофільної технології для збереження поживних і функціональних компонентів у концентрованих молочних продуктах.

Структура кульок молочного жиру також може змінюватися відповідно до конкретних методів концентрування. У дослідженні про вплив ліофільної та розпилювальної сушки на мікроструктуру кульок молочного жиру, було вказано, що поверхні деяких жирових кульок після ліофільної сушки стали товщі, ніж у сирого молока та після сушіння розпиленням. Ця технологія може призвести до утворення неправильних лускатих напівпрозорих листів із гострими краями, тоді як висушені розпиленням жирові кульки є сферичними частинками. Це явище можна пояснити амфіфільними фосфоліпідами, які мають тенденцію накопичуватися на поверхні під час заморожування, а потім жирові кульки злипаються під час процесу ліофільної сушки. Крім того, метод ліофільної сушки спричинив збільшення жирових кульок, що пояснюється авторами утворенням кристалів льоду та можливим відштовхуванням стороннього матеріалу від інтерстицій, викликаючи агрегацію глобул. Крім того, осмотичний тиск глобул міг викликати рекомбінацію у більших глобулах.

Концентрація шляхом сублімаційного сушіння також може впливати на фізико-хімічні властивості молочного продукту. У розробці ліофілізованого сиру *Petit Suisse* було зазначено, що цей метод концентрування може впливати на конформацію білкових мереж композиції продукту. Мікроскопія ліофілізованих зразків показала структури з великою пористістю та низькою агломерацією, що вказує на мінімальну взаємодію між частинками. Ця характеристика пояснюється процесом сублімації більших кристалів льоду, які заповнили утворені порожнини доступною водою в білковій матриці. Утворення великих пор у білковій мережі може бути спричинене збільшенням позитивного електричного заряду міцел казеїну при $\text{pH} < 4,6$, що зменшує міжклітинні взаємодії та призводить до утворення отвору (пори).

Дегідратація білка, спричинена заморожуванням, може змінити текстуру та реологічні властивості, приписуючи різну в'язкість після регідратації. На додаток до змін у складі та структурі молока, сублімаційне сушіння стало цікавим і корисним методом продовження терміну зберігання пробіотичних бактерій у молочних продуктах. Через пошкодження клітинних мембран шляхом

утворення кристалів льоду та зниження життєздатності клітин мікрокапсуляція є альтернативою для введення пробіотиків у середовище, запропоноване у розробці симбіотичного ліофілізованого порошку йогурту з використанням мікрокапсуляції *L. plantarum*. Після ліофільної сушки рівень виживання пробіотичних клітин становив 67,1–91,2%, з мінімальним впливом цього процесу на мікрокапсульовані клітини (втрата 9,8–10,6%). Збагачені мікрокапсули *L. plantarum* витримували процес ліофільної сушки, використовуючи порошок йогурту як пробіотичний продукт протягом 10 тижнів при 25 °С. Таким чином, застосування технології сублімаційного сушіння, а також інших альтернативних методів концентрації, дозволяє створювати функціональні молочні продукти зі збереженими поживними властивостями та покращеною якістю, підкреслюючи потенціал цих нетрадиційних технологій як ефективних замінників традиційних процесів концентрування у молочній промисловості.

6.6. Майбутні перспективи заміни традиційних технологій новими процесами концентрування молочних продуктів

Концентрування молочних продуктів стає однією з головних проблем для харчової промисловості, завдяки гарантії високої якості продукції та пов'язаної з низькою вартістю процесу. Дослідження, навіть якщо вони проведені в невеликих масштабах, демонструють промисловий потенціал у заміні традиційних технологій концентрації новими нетепловими альтернативами. Необхідно проводити нові дослідження та вдосконалення обладнання з адаптацією багатообіцяючих лабораторних результатів для великого виробництва, а також розробкою спеціального обладнання з низькими витратами, на додаток до підвищення швидкості, виходу та вмісту розчинних твердих речовин на етапах концентрації або розділення, які також можна розвинути в одну операцію в тій самій секції обладнання. Такі вдосконалення мають першочергове значення для технологій ліофільної сушки та блокової сублімаційної концентрації, які забезпечують ефективне концентрування, але

через низькі виходи поки що непридатні для масштабного промислового виробництва. Використання нетермічних процесів концентрації, окрім збереження високої поживної цінності та сенсорних характеристик молочних продуктів, може бути поєднано з екологічно привабливими підходами, що зменшують споживання невідновлюваних джерел енергії, такими як блокова концентрація заморожуванням або альтернативні методи обробки побічних продуктів за допомогою мембранних технологій. Завдяки постійним дослідженням і розробкам у молочній промисловості, заміна традиційних технологій концентрації нетермічними методами стає перспективною, дозволяючи отримувати продукти з підвищеною якістю, задовольняти потреби споживачів та пропонувати конкурентну альтернативу з економічної та технологічної точки зору.

Концентровані молочні продукти належать до ключових промислових товарів молочної промисловості завдяки високій доданій вартості, зменшеному об'єму та зниженим транспортним витратам. Крім того, процеси концентрування продовжують термін придатності продуктів, що розширює можливості логістики та розподілу. Традиційні термічні методи, такі як випарювання та розпилювальне сушіння, продовжують широко застосовуватися, проте вони пов'язані з високими енергетичними витратами та зменшенням поживних, функціональних і сенсорних властивостей молока й молочних продуктів. Сьогодні велика увага приділяється дослідженню нетермічних технологій концентрації як перспективної альтернативи, здатної мінімізувати негативний вплив традиційної обробки. Серед цих методів процеси мембранного розділення вирізняються високою пропускнуою здатністю, ефективним видаленням бактерій та спор, а також низьким енергоспоживанням, що дозволяє скоротити загальні витрати виробництва. Водночас сублімаційне концентрування та сублімаційне сушіння, незважаючи на переваги у підвищенні якості концентрованих продуктів, залишаються енергозатратними, мають низький вихід та обмежені для великомасштабного виробництва.

Останні дослідження у сфері нетрадиційних процесів концентрування є ключовими для промисловості, забезпечуючи можливість впровадження ефективних технологій на великих виробничих потужностях та підвищення якості комерційних концентрованих молочних продуктів.

Питання для самоконтролю

1. Які термічні і нетермічні методи концентрування застосовують у молочному виробництві?
2. Що представляє собою сухе молоко та його застосування в харчовій промисловості?
3. Які основні технологічні прийоми видалення вологи з молочних продуктів застосовують у харчовій промисловості?
4. Що собою представляє технологічний процес випаровування води з молока?
5. У чому полягає сутність процесу виробництва сухого молока шляхом розпилення сировини?
6. Яким чином висока температура процесу сушки впливає на сенсорні показники порошку молока?
7. Коли є необхідним запровадження імпульсного розпилення у молочному виробництві?
8. У чому полягає особливість застосування імпульсного розпилювання з енергетичної точки зору?
9. Що таке техніка блокового концентрування заморожуванням?
10. Які характерні процеси відбуваються в наслідок мембранної сепарації у молочному виробництві?
11. У чому полягає сутність ліофільної сушки?
12. Завдяки якому принципу працюють сублімаційні сушарки?
13. Чи вважається сублімаційне сушіння ефективним методом концентрування та збереження концентрованого молока?
14. Як сублімаційне сушіння впливає на фізико-хімічні властивості молочного продукту?

15. Які фізико-хімічні зміни відбуваються в білках молока під час термічного концентрування?
16. Який вплив концентрації на смакові та ароматичні властивості молочного продукту?
17. Які методи запобігання пригорянню та карамелізації молока під час випаровування?
18. Як різняться характеристики порошку молока при різних способах сушіння (розпилення vs. сублімація)?
19. Які технологічні фактори впливають на збереження вітамінів та біологічно активних речовин у сухому молоці?
20. Які види сухого молока існують (цільне, знежирене, частково знежирене) та їхнє застосування?
21. Які типи розпилювальних сушарок застосовують у молочній промисловості і чим вони відрізняються?
22. Що таке пілотне та промислове випаровування молока і яка їхня відмінність?
23. Які види мембранної фільтрації (ультрафільтрація, мікрофільтрація, зворотний осмос) застосовуються для концентрування молока?
24. Які переваги та недоліки мембранної сепарації порівняно з термічними методами?
25. Які показники якості контролюють у порошку молока після сушки?
26. Яким чином імпульсне розпилення впливає на енергоспоживання процесу?
27. Які основні етапи технологічного процесу сублімаційного сушіння молочних продуктів?
28. Як температура та тиск у сублімаційній сушарці впливають на структуру і колір продукту?
29. Які види ліофільної сушки застосовують у виробництві дитячого харчування?

Рекомендована навчальна література

1. Грек О.В., Красуля О.О. Молокопереробка. Інновації : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2017. 390 с.

2. Іванов С.В., Грек О.В., Осьмак Т.Г. Молокопереробка. Промисловий інжиніринг : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2017. 275 с.
3. Власенко В.В., Головка М.П., Семко Т.В., Головка Т.М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
4. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
5. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О.В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. Режим доступу: <http://library.nuft.edu.ua>
6. Скорченко Т.А., Грек О.В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2012. 330 с.
7. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологічні розрахунки у молочній промисловості : навч. посібник. Київ : НУХТ, 2013. 343 с.
8. Теличкун В.І., Гавва О.М., Теличкун Ю.С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
9. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2013. 502 с.
10. Скарбовійчук О.М., Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А., Федоров В.Г. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник : навч. посібник. МОН України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 311 с.
11. Цехмістренко С.І., Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.
12. Власенко В.В., Семко Т.В., Шаблій Л.М., Лавицький В.П. Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 330 с. Режим доступу: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/11736.pdf>

Розділ 7. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЕРШКОВОГО МАСЛА

7.1. Властивості вершкового масла

Згідно ДСТУ 4399:2005 «Масло вершкове» масло вершкове залежно від масової частки жиру поділяють на групи, а саме: вершкове масло екстра (масова частка жиру від 80,0 до 85,0 %), вершкове масло селянське (масова частка жиру від 72,5 до 79,9 %), вершкове масло бутербродне (масова частка жиру від 61,5 до 72,4 %), топлене масло (молочний жир) (масова частка жиру не менше 99,0 (99,8)).

Залежно від технологічних особливостей та органолептичних показників вершкове масло поділяють на види: солодковершкове та солоне солодковершкове; кисловершкове та солоне кисловершкове.

Солодковершкове масло – вид вершкового масла, що його виробляють із пастеризованих натуральних вершків; кисловершкове масло виробляють із пастеризованих вершків, сквашених чистими культурами молочнокислих бактерій; солоне вершкове масло виробляють з додаванням кухонної солі. Масова частка кухонної солі для масла солоного солодко- та кисловершкового повинна бути не більше ніж 1,0 %.

Топлене масло, молочний жир – група масла, що отримане з вершкового масла, підсирного масла, масла-сирцю або вершків видаленням практично всієї вологи та інших, окрім жиру, твердих речовин.

Вершкове масло являє собою емульсію вода-в-маслі, будучи одним із найдавніших молочних продуктів; його походження невідоме, але, ймовірно, воно сягає доісторичних етапів тваринництва. Загалом близько третини світового виробництва молока припадає на виробництво масла. Останнім часом емульсії з меншим діаметром сферичних крапель (<100 нм) викликають підвищений інтерес через їхні нові фізико-хімічні властивості. У структурі вершкового масла краплі води мають діаметр менше 10 мкм і вкриті оболонкою

з кристалів жиру, яка відокремлює краплі води одна від одної та запобігає процесу злиття.

Вершкове масло є молочним продуктом, який виготовляють виключно шляхом збивання пастеризованих вершків, відокремлених від молока (зазвичай коров'ячого), із подальшим видаленням надлишку води у вигляді пахти. Аромат масла формується насамперед діацетилом, тоді як інші компоненти, такі як масляна, пропіонова та мурашина кислоти, ацетальдегід і ацетоїн, відіграють менш помітну роль. Крім високого вмісту жиру, вершкове масло містить значну кількість вітаміну А (еквівалент ретинолу) – 653,0 мкг/100 г, вітаміну Е (еквівалент токоферолу) – 2,2 мг/100 г, холестерину – від 183 до 248 мг/100 г, а також незначні кількості кальцію, фосфору, вітамінів К (60 мкг/100 г) та D (1,2 мкг/100 г), і має низький вміст білка. Колір вершкового масла обумовлений присутністю каротину (лікопіну), вітаміну А та інших жиророзчинних пігментів.

За хімічним складом ліпідної фракції коров'ячого молока переважають триацилгліцерини (близько 98%), а також містяться невеликі кількості моно- та діацилгліцеринів, гліколіпідів, ефірних ліпідів, вільних жирних кислот, фосфоліпідів і стеролів. Відповідно до Codex Alimentarius (2018), вершкове масло визначається як жирний продукт, виготовлений виключно з молока або молочних продуктів, який містить щонайменше 80% молочного жиру, не більше 16% води та не більше 2% знежирених сухих речовин. У країнах Європейського Союзу несолоне вершкове масло має містити мінімум 82% молочного жиру. Сьогодні, крім традиційного вершкового масла з 80% вмістом молочного жиру, виробляються й інші варіанти, наприклад знежирене або нежирне масло. Codex Alimentarius класифікує ці продукти як отримані виключно з молока, із вмістом молочного жиру від 10% до 80%.

Текстура є одним із важливих атрибутів якості вершкового масла, який визначає здатність до розмазування, смакові відчуття, зовнішній вигляд і прийнятність споживача. Текстурні властивості вершкового масла тісно пов'язані з тривимірною мережею кристалів жиру в безперервній масляній фазі.

Ступінь кристалізації та співвідношення твердого та рідкого жиру є основним визначальним фактором консистенції вершкового масла.

Консистенція вершкового масла – сукупність структурно-механічних (реологічних) властивостей, які залежить від самого продукту, взаємозв'язку його компонентів та їх фізичного агрегатного стану.

Масло має унікальну консистенцію та смак; загалом, ліпіди мають бажаний вплив на сенсорні властивості багатьох харчових продуктів, впливаючи на відчуття в роті, колір, текстуру та реологічні властивості. Склад жирних кислот визначає фізичні характеристики (такі як твердість), стабільність, харчову цінність ліпідів, а також вершкового масла. Повністю природні ліпіди складаються з насичених, мононенасичених та поліненасичених жирних кислот у різних співвідношеннях і відрізняються специфічним детальним складом жирних кислот. Вершкове масло з вмістом молочного жиру понад 80% аналізувалося в різних дослідженнях щодо варіацій системи годівлі корів, сезонних коливань жирних кислот, реологічних властивостей. Окрім твердості, пластичності та в'язкості, важливим параметром текстури вершкового масла є також його клейкість, яка суттєво впливає на органолептичні та технологічні властивості продукту. Термін липкість, який використовується в маслоробній промисловості, відноситься до тієї властивості масла, яка дозволяє йому залишатися прикріпленим до твердих поверхонь. Це явище, в якому нерозривно задіяні компоненти сили, спричинені адгезією та когезією, які описуються терміном «гезія»

7.1.1. Вплив технологічних факторів на фазові перетворення в молочному жирі та вершках

Вплив хімічного складу молочного жиру. У молочному жирі виявлено 164 жирні кислоти. Основними є 25–28 жирних кислот. В осінньо-зимовий період у молочному жирі зростає кількість насичених жирних кислот, а у весняно-літній – ненасичених жирних кислот. Молочний жир складається із 3000 тригліцеридів, що різняться між собою за хімічним складом та плавкістю. Відповідно, в

осінньо-зимовий період року ступінь твердіння молочного жиру більша ніж у весняно-літній період.

Вплив швидкості та глибини охолодження. При швидкому та глибокому охолодженні ($0-2^{\circ}\text{C}$) досягається найбільша ступінь переохолодження та висока в'язкість, що створює умови для швидкого утворення численних центрів кристалізації. Дрібні змішані кристали мають розвинену адсорбційну поверхню і велику змочуваність рідким жиром. Це сприяє формуванню пластичної консистенції масла. При повільному охолодженні виникає незначне переохолодження, тому утворюється мало центрів кристалізації, відповідно формуються великі кристали жиру, що майже повністю займають об'єм жирової кульки. Чим повільніше протікає процес охолодження, тим кращі умови для фракційної (групової) кристалізації. Збільшується кількість груп гліцеридів, зужується діапазон їх плавлення (відмічають 6–7 груп змішаних кристалів). Одночасно збільшується температурний діапазон плавлення твердої фази жиру, відповідно підвищується температура її повного розплавлення, що також призводить до збільшення термостійкості масла.

Термостатування затверділого молочного жиру. В процесі термостатування відбувається часткова диференціація основних груп змішаних кристалів в залежності від їх плавкості, структурної та хімічної спорідненості. Відбувається перерозподіл гліцеридів між твердою та рідкою фазами жиру, а також між групами гліцеридів твердої фази жиру. Використання різних режимів фізичного дозрівання вершків, виробництва масла і його зберігання дозволяє направлено регулювати кількісні характеристики у твердій фазі жиру.

Диференціація гліцеридів проходить також при термостатуванні масла в процесі його зберігання. Це призводить до утворення *вторинної структури масла*. Тому необхідно створювати такі умови зберігання масла, які виключають проходження фазових перетворень, а саме: зберігати при дуже низьких температурах, коли розпад твердих розчинів, диференціація гліцеридів проходить надзвичайно повільно.

Вплив перемішування. При перемішуванні молочного жиру та вершків фазові перетворення в жировій фазі проходять інтенсивніше. Особливо ефективне перемішування в період утворення зародків кристалів. В середньому швидкість твердіння збільшується вдвічі.

Вплив жирності вершків. Із збільшенням жирності вершків значно зменшується швидкість та ступінь твердіння жиру. Це пов'язано з високою в'язкістю вершків, меншою тепло- та теплопровідністю високожирних вершків порівняно з низькожирними. У вершках з вищим вмістом жиру зменшується число центрів кристалізації, збільшується фракційність твердіння жиру.

Розроблено два методи прискореного дозрівання вершків, режими підготовки двостадійні. Один із методів базується на інтенсифікації механічної і температурної дії на вершки. Вершки механічно обробляють протягом 2-5 хв в спеціальних вершкообробниках при температурі 2–6°C, яка характерна для твердіння СПГ, і витримують при цій температурі у весняно-літній період протягом 1,5–2 год, у осінньо-зимовий період - 45–50 хв (перша витримка). Потім вершки нагрівають в потоці до температури сколочування, витримують 20–30 хв (друга витримка) і направляють у масловиготовлювач. Друга витримка особливо необхідна при виробленні масла з підвищеним вмістом вологи (20–35%) у літній період. Механічна обробка вершків інтенсифікує процес кристалізації гліцеридів молочного жиру, що продовжується під час наступної витримки вершків при низьких температурах (3–6°C). Структуру і консистенцію масла регулюють шляхом змінення тривалості та інтенсивності механічної дії на вершки та тривалості витримки вершків перед сколочуванням.

Другий метод: пастеризовані вершки охолоджують у теплообміннику до 18–20°C, потім у розпиленому стані в атмосфері парів азоту миттєво охолоджують до температури 2–4°C, витримують 6 хв при перемішуванні і підігрівують до температури сколочування.

Сколочування вершків проводять у масловиготовлювачах безперервної і періодичної дії. Виділяють три стадії сколочування вершків: утворення

повітряних бульбашок (I), руйнування дисперсії повітряних бульбашок (II), формування масляного зерна (III).

На I стадії завдяки інтенсивному перемішуванню вершків утворюється дисперсія повітряних бульбашок, які руйнуються у поверхневому прошарку вершків, що межує з повітрям. На I стадії паралельно проходить утворення і руйнування бульбашок, але руйнується бульбашок менше, ніж утворюється. В результаті збільшується загальне число бульбашок, об'єм повітряної дисперсії та поверхня контакту повітря – вершки, утворюється структурована рухлива піна внаслідок перетворення деякої кількості чи всього об'єму вершків у тонкі прошарки.

На II стадії утворюється структурована комірчаста система, що являє собою агрегатну піну. Різко знижується швидкість утворення повітряних бульбашок у вершках. Об'єм агрегатної піни збільшується в основному за рахунок включення в неї плазми вершків, а не повітря. Агрегатна піна складається із дрібних бульбашок, які розділені товстими прошарками рідини. Бульбашки повітря втрачають рухливість внаслідок виникнення допоміжних зв'язків кристалізаційного типу між кристалами гліцеридів при злипанні жирових кульок, флотованих повітряними бульбашками. Механічне навантаження призводить до незворотного руйнування нерухомих структурних зв'язків. Друга стадія закінчується руйнуванням агрегатної піни і утворенням дрібних грудочок жиру із злипих жирових кульок, які називають «макове зерно».

На III стадії закінчується формування масляного зерна. В результаті багаторазового стикання одна з одною дрібні грудочки жиру злипаються, утворюється масляне зерно.

Описані стадії сколочення вершків принципово не відрізняються при виробництві масла в масловиготовлювачах безперервної та періодичної дії. Але швидкість агрегації жирових кульок у безперервних масловиготовлювачах вища у тисячу разів.



а



б

Рис. 34. Машина для обробки вершків та збивання масла:
а) періодичної дії; б) безперервної дії [36]

Температура сколочування є основним фактором маслоутворення. По закінченні дозрівання вершки підігрівають теплою водою температурою не вище 27°C , що циркулює в сорочці апарату, до температури сколочування. Підігріті вершки витримують протягом 30–40 хв. Повільне підігрівання і витримка

вершків забезпечує нормальне утворення масляного зерна, мінімальні коливання вмісту вологи у готовому продукті та найменші втрати жиру в сколотини.

Промивка масляного зерна є багатофункціональною операцією, оскільки впливає на смак і запах масла, його консистенцію та стійкість при зберіганні. При виготовленні масла з вершків із сильним кормовим або кислим присмаком масляне зерно промивають питною водою температурою 5–8°C. Кількість її дорівнює половині маси масляного зерна. При виробленні масла із високоякісних вершків масляне зерно не промивають. У непромитому масляному зерні краще зберігаються компоненти плазми, що мають антиоксидантні властивості і вільні сульфгідрильні сполуки типу SH-груп, токоферолі (вітамін Е), β-каротин, фосфоліпіди та ін. Непромите масло завдяки цьому характеризується більш вираженим смаком і запахом порівняно з промитим.

Температура промивної води дорівнює температурі сколочування вершків. Для м'якого липкого масляного зерна температуру промивної води знижують на 2°C. При промивці твердого масляного зерна для поліпшення консистенції масла використовують воду, температура якої на 1–2°C перевищує температуру сколотин.

Хоча масло є простим продуктом, виготовленим лише з кількох інгредієнтів, фізичні зміни, які відбуваються під час виробництва масла, є більш складними.

Якість вершків. Найважливішим фактором у виробництві масла є якість вершків. Без високоякісних вершків неможливо отримати якісне масло. До ключових параметрів вершків належать вміст молочного жиру та рівень рН. Жирність вершків повинна знаходитися в межах 35–40 %; відхилення від цього діапазону, як у бік збільшення, так і зменшення, негативно впливає на вихід масла. Рівень рН вершків повинен становити 6,4–6,7. Значення рН нижче 6,4 свідчить про присутність небажаних мікроорганізмів. Серед інших показників, які слід контролювати, – стандартна кількість мікроорганізмів у молочних пробах, наявність коліформ та інші мікробіологічні показники.

Оскільки масловиробництво за своєю природою має на меті концентрувати жир у вершках, якість жирового/ліпідного компонента вихідних вершків має вирішальне значення. Дві основні реакції, які можуть відбуватися з жиром, це окислення ліпідів і гідролітичне згіркнення. Перший процес пов'язаний із взаємодією жиру з киснем, що призводить до появи характерного картонного запаху. Другий зазвичай виникає внаслідок розщеплення тригліцеридів ліпазами – ферментами, які гідролізують жири – і проявляється у вигляді неприємного запаху та смаку, схожого на блювотну масу у дитини або милоподібний присмак. Тому показники якості, що відображають ці реакції, слід враховувати під час оцінки крему.

Ліпід. Ліпіди або жир і типи жиру в молоці важливі для розуміння науки, що лежить в основі виробництва масла. Тригліцериди складають приблизно 97-98% жиру, який міститься в молоці. Решта жиру в молоці складається з моно- та диґліцеридів (приблизно 0,5%), холестерину (приблизно 0,3%) і фосфоліпідів (приблизно 0,6%). Кількість і структура цих ліпідів відіграють важливу роль у ефекті емульгування при виготовленні масла, що впливає на танення та розтікання. Жир у молоці міститься у вигляді кульок молочного жиру розміром від 0,1 до 20 мікрон. Кульки молочного жиру мають три шари, які захищають тригліцериди жиру - ці шари захищають якість жиру. Надмірне зціджування або неправильне поводження з молоком може пошкодити оболонки молочних глобул, що призводить до потрапляння кисню та окислення жиру або до проникнення ферментів у глобули, викликаючи розвиток неприємного смаку (гідролітичне згіркнення). Тому для виробництва масла особливо важливо зберігати високу якість вершків.

Ліноліз – процес розщеплення тригліцеридів із виділенням вільних жирних кислот – призводить до формування смаків, небажаних у виробництві масла. Неушкоджені тригліцериди майже не мають аромату чи смаку, тоді як ферменти, такі як ліпази, гідролізують їх до вільних жирних кислот. Ці кислоти більш леткі та взаємодіють із рецепторами нюху, створюючи інтенсивний смак, який у маслоробстві вважається небажаним.

Структура молочного жиру. Жир молока складається приблизно на 70 % з насичених жирних кислот, які є твердими при кімнатній температурі та містять одинарні зв'язки, і на 30 % з ненасичених жирних кислот, рідких при кімнатній температурі та мають подвійні зв'язки. Структура жирів у вершковому маслі має велике значення, оскільки вона визначає температуру плавлення та м'якість продукту. Основною формою жиру є тригліцериди, які мають «камертоноподібну» структуру, що дозволяє їм щільно вкладатися і формувати стабільні кристалічні структури, завдяки чому жир залишається твердим при кімнатній температурі. Введення ненасичених жирних кислот із подвійними зв'язками призводить до перегину ланцюга, ускладнюючи щільне укладання тригліцеридів. Як наслідок, структура стає менш стабільною, жир легше розплавляється і може бути рідким при кімнатній температурі, що безпосередньо впливає на температуру плавлення та розмазуваність масла.

Чим більше ненасичених жирних кислот із подвійними зв'язками міститься в жирі, тим нижча його температура плавлення і тим більша ймовірність, що він буде рідким при кімнатній температурі.

7.2. Технологія виробництва вершкового масла

Переробка масла починається з обробки молока в сепараторі для відділення вершків від знежиреного молока. Далі вершки піддають пастеризації. Мінімальні параметри пастеризації становлять 30 хвилин при 74 °C або 15 секунд при 85 °C, що є вищими температурами, ніж зазвичай застосовують для обробки рідкого молока або виробництва сиру. У процесі переробки молока якісне відділення вершків є критично важливим для ефективного виробництва молочних продуктів. Це включає розділення молока на вершки та знежирене молоко, а також видалення бактерій і спор, що забезпечує вищу якість продукту та подовжений термін його зберігання.

Відцентрові сепаратори INOXPA призначені для застосування в молочній промисловості та інших харчових виробництвах, де необхідне ефективне

розділення компонентів рідких продуктів за щільністю. У молочній промисловості вони використовуються для відокремлення вершків від знежиреного молока та одночасного видалення небажаних твердих частинок, що підвищує якість кінцевого продукту та продовжує його термін зберігання.



Рис. 35. Сепаратори відцентрові для молочних продуктів [37]

Принцип роботи сепаратора базується на відцентровій силі. Продукт подається у високошвидкісну обертову чашу, де відцентрова сила розділяє його на фракції відповідно до щільності: важчий компонент (знежирене молоко) відтікає через бічний вихідний отвір, а легший (вершки) збирається в центральному випускному отворі. Дрібні тверді частинки, такі як залишки білкових згустків або домішки, осідають у вузьких проміжках між дисками, а накопичені на краю чаші тверді речовини періодично видаляються, забезпечуючи безперебійну роботу. Сучасні сепаратори INOXPA обладнані панеллю керування з сенсорним екраном, що дозволяє задавати параметри роботи та контролювати процес у реальному часі. Додаткові переваги включають

водяний бустерний насос для підтримки стабільного тиску продукту, низький рівень шуму та високий ступінь автоматизації, що зменшує потребу в ручному втручанні. Завдяки цим характеристикам сепаратори забезпечують стабільну якість молочної продукції, економію сировини та підвищення ефективності виробничого процесу.

Бустерна насосна установка – це насосне устаткування з лопатевим або об'ємним насосом, перед входом в який насос струминний створює підпір, необхідний для забезпечення безкавітаційної роботи основного насоса.

Відцентрові сепаратори INOXPA забезпечують освітлення та очищення молочних продуктів шляхом видалення твердих частинок, що зменшує потребу у додатковій фільтрації. Вони підвищують якість продукту та подовжують його термін зберігання завдяки ефективному видаленню бактерій і спор, а також дозволяють швидко й надійно розділяти молоко на вершки та знежирене молоко. Крім того, сепаратори спроектовані для зручності експлуатації та обслуговування, що робить їх ефективним і практичним обладнанням для молочної промисловості.

Високі температури необхідні для пастеризації вершків, оскільки вершки мають більший вміст твердих речовин, тож більш високі температури необхідні для забезпечення належної термічної обробки. Більш високі температури пастеризації також необхідні для інактивації певних ферментів, таких як ліпази, які можуть викликати присмаки в маслі, виготовленому із сирих вершків.

Після того, як вершки пастеризували, їх культивують (якщо готують вершкове масло), а потім темперують. Цей крок передбачає плавне підвищення температури вершків з часом і контроль втрати жиру під час процесу приготування масла. Після темперування вершки готові до збивання, обробки, соління (якщо є), пакування та охолодження.

Культивування. Хоча солодковершкове масло є переважаючим видом вершкового масла в США, все більше споживачів шукають європейське масло з високим вмістом жиру або кисловершкове масло. Вершкове масло культивується

шляхом додавання до вершків бактерій, таких як *Streptococcus cremoris*, *Streptococcus lactis sub diacetylactis* і *Lueconostoc*. Подібно до сироваріння, при додаванні культури бактерії ферментують або розщеплюють лактозу та лимонну кислоту та утворюють кінцеві продукти, такі як молочна кислота та ароматичні сполуки, такі як діацетил, який має маслянистий аромат, що зазвичай асоціюється з попкорном у мікрохвильовій печі. Молочна кислота, що утворюється в результаті бродіння, призводить до того, що кисловершкове масло зазвичай має рН приблизно від 4,4 до 5,0, тоді як солодковершкове масло зазвичай має рН, подібний до рН вершків/молока (~6,0 до 6,7).

Темперування (загартування) та кристалізація. Після пастеризації (та, за можливості, культивування) наступним етапом у виробництві масла є темперування (загартування) та кристалізація. Під час пастеризації молочний жир у кульках перебуває в рідкому стані, оскільки температура перевищує температуру плавлення жиру. При охолодженні жир починає кристалізуватися, починаючи з зовнішнього шару жирової кульки, що безпосередньо впливає на формування кристалічної структури. У маслоробстві критично важливим є досягнення оптимального балансу між твердим (кристалізованим) та рідким молочним жиром. Це співвідношення визначає м'якість і здатність масла до розтікання: чим більше твердого жиру, тим щільнішим і менш зручним для намазування буде продукт. Під час кристалізації температура вершків підвищується через виділення прихованої теплоти, а для ідеального збивання з мінімальними втратами жиру рідкий жир повинен залишатися на зовнішній стороні кульок. Цей процес, відомий як міграція або інверсія жиру, потребує часу — зазвичай 18–24 години. Основне значення цього етапу полягає в тому, що взаємодія між твердим і рідким жиром у кульках молочного жиру визначає остаточну текстуру масла та його здатність до розтікання.

Збивання. Наступним кроком у виробництві масла є збивання, яке може відбуватися як періодичним, так і безперервним способом. Під час збивання відбувається «інверсія фази». Вершки перетворюються з емульсії «масло-у-воді» на вершкове масло, емульсію «вода-в-маслі». Вершки збивають

для того, щоб жирові кульки зливалися, агрегувалися та об'єднувалися, формуючи тверді гранули або згустки вершкового масла. У міру розвитку цього процесу формується міцна структура з гранул масла, тоді як пахта виділяється і відтікає зі збивального пристрою.

Обробка, засоловання, пакування та охолодження. Останніми етапами є обробка, засоловання, пакування та охолодження. Обробка вершкового масла сприяє утворенню приємної цілісної маси та подальшому видаленню пахти. На цьому етапі сіль (якщо виробляється солоне масло) також додається до масла. Завершальним етапом є пакування та охолодження. У міру охолодження масла відбувається повільне зниження температури. Під час охолодження вершків ядра, що утворилися під час темперування, продовжують рости, що може зменшити пластичність масла. Занадто швидке охолодження призводить до формування короткої, крихкої текстури. Оптимальна здатність до намазування досягається при помірному охолодженні, коли баланс між твердими і рідкими жирами дозволяє отримати м'яку, пластичну структуру.

Маслоробна машина BUE. Маслоробна машина призначена для безперервного виробництва вершкового масла з солодких або сметаноподібних вершків за методом Фріца. Масло, вироблене на цій машині, відповідає високим стандартам якості, зокрема німецьким нормам для вершкового масла. Крім кисловершкового масла, машина оснащена дозатором трьох рідких добавок, що дозволяє виготовляти молочне або солоне вершкове масло.

Вершки точно підігріваються до стабільної температури та збиваються до утворення гранул вершкового масла в циліндрі. Гранули охолоджуються в охолодженій масляній ванні, після чого вершкове молоко відділяється від масляних грудок. У текстуризаторі масло розминають для видалення залишків вершкового молока, після чого можна додавати воду, пахту, молочну культуру, сольовий розсіл або інші рідкі інгредієнти, які рівномірно перемішуються багатоступеневим міксером.

Під час наступного етапу з машини витягується повітря у вакуумній камері, після чого масло ще раз ретельно вимішується та текстурується у текстуризаторі. Вбудований насос забезпечує безперервне вивантаження готового продукту, що дозволяє підтримувати стабільний виробничий процес.

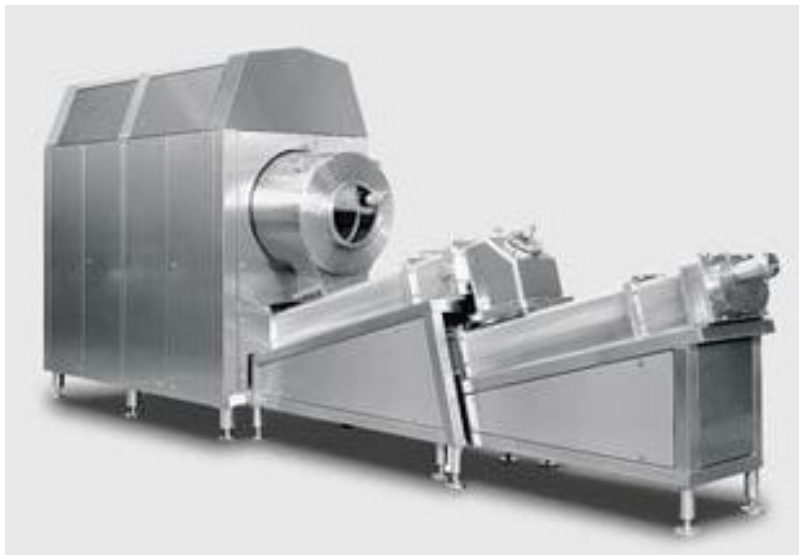


Рис. 36. Маслоробна машина BUE [38]

Машину можна повністю чистити CIP. Концепція очищення GEA забезпечує відновлення продукту майже без втрат. Усі приводи машини мають частотне регулювання. Машина має корпус з нержавіючої сталі. Великі двері з усіх боків забезпечують хороший доступ до всіх частин. Усі деталі, що контактують із продуктом, виготовлені з нержавіючої сталі. Для пломб доступні схвалені FDA матеріали. Гігієнічна конструкція машини сертифікована USDA. Подача: 1600 кг/год - 26 000 кг/год. Кінцевий продукт: 800 кг/год - 13 000 кг/год. Виробник **GEA Німеччина**.

Машина для розливу вершкового масла ORG – це напівавтоматичний розливний пристрій, призначений для наповнення готових упаковок типу «bag-in-box».



Рис. 37. Машина для розливу вершкового масла ORG [39]

Машина оснащена екструдерним об'ємним дозуванням та включає пневматичну систему для повороту коробки, змінну дозувальну головку для упаковок іншого розміру, а також пневматичний комплект автоматики, що складається з різаків та штовхачів коробок. Для контролю ваги продукту передбачені цифрові ваги, а допоміжний транспортер забезпечує зручне переміщення коробок у процесі розливу.

Таблиця 8

Технічна характеристика ORG – машини

Тип машини	Напівавтомат
Продуктивність, картон. коробок/год	до 150
Температура продукту на вході, °C	+9 – +16
Вага коробки, кг	5–10, 15–20–25
Подача стисненого повітря, МПа	0,5 – 0,6
Споживання стисненого повітря, м³/хв	0,22
Номинальна споживана потужність, кВт	4,5
Маса машини, кг	440 без ваг, – 545 з вагами
Розмір машини, мм	2405x1360x1282 без ваг 4057x1762x1394 з вагами

Вершкове масло здобуло популярність серед споживачів завдяки своєму характерному аромату та смаку. Проте традиційне вершкове масло часто вважають «нездоровим» через високий вміст насичених жирів і холестерину, які пов'язані з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань. Тому підвищення корисних властивостей вершкового масла стало важливим напрямом досліджень у маслоробній промисловості.

У цьому розділі розглядаються дослідження, спрямовані на покращення функціональних властивостей вершкового масла, включаючи модифікацію складу жирних кислот, зниження вмісту холестерину, додавання біологічно активних речовин та пошук нових джерел корисних компонентів. Зменшення концентрації насичених жирних кислот і холестерину у вершковому маслі може сприяти зниженню ризику захворювань, пов'язаних із його споживанням. Крім того, введення пробіотиків або натуральних рослинних екстрактів дозволяє підвищити поживну цінність продукту, зокрема шляхом нормалізації кишкової мікрофлори, покращення засвоєння поживних речовин та посилення антиоксидантної активності масла.

Замінники масла можуть виготовлятися на основі нових рослинних олій, жирів комах або мікробних жирів, що дозволяє створювати продукти з низьким вмістом калорій і холестерину. Рослинні олії забезпечують корисні ненасичені жири, жири комах є джерелом білка та жирних кислот із високою біодоступністю, а мікробні жири можуть бути запрограмовані на оптимальний склад жирних кислот. Використання таких замінників допомагає зменшити вплив на навколишнє середовище, який виникає при традиційному виробництві вершкового масла, та задовольнити потреби споживачів у більш здорових і стійких продуктах.

Безперервне виробництво масла. Завод і обладнання для виробництва вершкового масла забезпечують виготовлення високоякісного продукту з відмінною здатністю до розтікання та рівномірним розподілом вологи. Установка дозволяє виробляти до 10 тон масла на годину, що робить її ефективним рішенням для промислового виробництва. Сучасні технології

контролюють температуру, структуру жиру та вологість на всіх етапах процесу, забезпечуючи стабільні смакові та текстурні властивості. Виробник обладнання — Швейцарія, що гарантує високу надійність, точність інженерії та тривалий термін служби техніки.

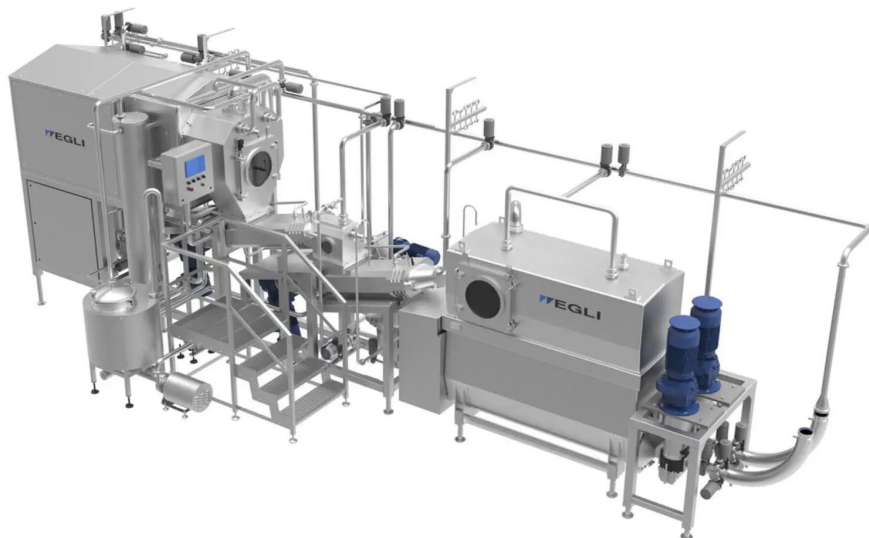


Рис. 38. Машина для виробництва високоякісного вершкового масла [40]

Вершкове масло споживається людьми з часів неоліту, оскільки воно має унікальний аромат і смак, який широко використовується у виробництві харчових продуктів і подобається споживачам. Продукти на основі вершкового масла на ринку можна поділити на дві категорії: натуральне вершкове масло, молочний продукт, виготовлений із чистого молока, і маргарин, продукт на основі олій, виготовлений з використанням тваринних і рослинних олій. Колись гідрогенізований маргарин вважався життєздатною альтернативою натуральному вершковому маслу, але його популярність зросла, особливо в Європі та Сполучених Штатах, завдяки схожому зовнішньому вигляду та смаку. Однак, хоча гідрування збільшує насиченість подвійних зв'язків, цей процес призводить до втрати значної кількості поживних речовин із сирової олії. Крім того, ненасичені подвійні зв'язки в олії можуть перетворюватися на трансжирні

кислоти, які засвоюються організмом і спричиняють закупорювання артерій, а також інші захворювання, пов'язані з серцем. У 2015 році Управління з контролю за якістю харчових продуктів і медикаментів (FDA) оголосило, що частково гідрогенізовані олії більше не вважаються безпечними для споживання. Розробка нових функціональних продуктів на основі вершкового масла та маргарину все ще триває.

Класифікація продукту як вершкового масла базується на суворих критеріях щодо його складу. Комісія Codex Alimentarius визначає вершкове масло як молочний продукт, що містить лише молочний жир. Вершкове масло повинно містити не менше 80% жиру, не більше 16% води і 2% сухого молока. Вміст жиру в масляних продуктах призвів до кількох класифікацій у різних країнах, таких як несолене вершкове масло, солоне вершкове масло, 100%, 75% і 50% вершкового жиру, відповідно до правил Європейського Союзу. У Сполучених Штатах продукти, які містять понад 80% молочного жиру, класифікуються як вершкове масло, а ті, що містять більше 40% відомі як легке вершкове масло. Японські правила виробництва масла дозволяють використовувати молоко інших тварин на додаток до коров'ячого. Китайський національний стандарт GB 19646–2010 містить чіткі визначення вершкового та безводного вершкового масла.

Вершкове масло – це молочний продукт, отриманий з молока та/або вершків (ферментованих або неферментованих), який може містити або не містити інші інгредієнти, харчові добавки та поживні збагачувачі. Масляний продукт повинен мати мінімальну жирність 80,0 %, а безводне вершкове масло – не менше 99,8 %.

Вершкове масло виготовляють з молока, тому воно містить високоякісні поживні речовини – вуглеводи, білки, жири та мікроелементи – у формах, що легко засвоюються організмом. У наукових дослідженнях вершкове масло часто використовують як джерело жиру в раціоні. Наприклад, його порівнюють із n-6 поліненасиченими жирними кислотами для вивчення впливу на відкладення жиру в печінці, запальні процеси та метаболізм у людей із ожирінням. Особливо

важливим є бутират, який міститься у вершковому маслі у значній кількості: він виступає ключовим медіатором у кишково-мозковій осі та має помітний вплив на неврологічні розлади.

Оксибутират натрію (відомий також як бутират, бутік, бут, буратино, «ковпачок») — синтетичний лікарський препарат із вираженою ноотропною дією, що може викликати залежність. Активною речовиною є натрієва сіль γ -оксимасляної кислоти, яка за своїм механізмом дії подібна до γ -аміномасляної кислоти (GABA).

Наразі бутират вивчають як експериментальний фармакологічний засіб для лікування неврологічних розладів, таких як депресія, нейродегенеративні хвороби та когнітивні порушення. Водночас споживання вершкового масла слід обмежувати в розумних межах. Тому розробка функціонального вершкового масла з корисними для здоров'я властивостями стала важливим напрямом досліджень, що дозволяє мінімізувати потенційні ризики, пов'язані з його вживанням.

Функціональні харчові продукти є частиною нової ринкової ніші, яка прагне визнання споживачів. Вони привертають інтерес харчової промисловості як з економічних причин, так і завдяки науковим доказам, пов'язаним з їх користю для здоров'я. Функціональні харчові продукти забезпечують споживачів функціональними перевагами, пов'язаними з певними поживними речовинами, такими як вітаміни, мінерали, клітковина, пребіотики або пробіотики. Ці додані інгредієнти забезпечують додаткові переваги, окрім основного харчування. Останнім часом споживачі стали більш усвідомлювати поживність і якість своєї їжі, що призвело до збільшення попиту на «здорову» їжу. Харчова промисловість відреагувала на цей попит збільшенням пропозиції потенційно функціональних харчових продуктів на ринку, особливо тих, які традиційно вважаються нездоровими.

Поживну цінність традиційного вершкового масла можна підвищити шляхом модифікації складу жирних кислот, зниження вмісту холестерину, додавання біологічно активних компонентів та використання нових джерел сировини. Крім того, у останні роки значну увагу приділяють розробці

продуктів-замінників вершкового масла. У цьому розділі розглядаються застосування інноваційних технологій і нової сировини у виробництві функціонального вершкового масла та його замінників, а також особливості їхніх характеристик і поживних властивостей.

7.3. Вершкове масло, збагачене ненасиченими жирними кислотами

Вершкове масло містить велику кількість жирних кислот із середнім і коротким ланцюгом, які мають особливі фізіологічні функції, такі як легке засвоєння, швидкий метаболізм, стимуляція росту, антимікробні властивості широкого спектру дії та підтримка здоров'я кишківника. Проте традиційне вершкове масло містить високу частку насичених жирних кислот (SFAs – Saturated Fatty Acids) та низький рівень n-3 жирних кислот. Надмірне споживання SFAs може сприяти розвитку ожиріння, що є широко визнаною проблемою охорони здоров'я. Ожиріння, у свою чергу, є відомим фактором ризику для багатьох супутніх захворювань, таких як цукровий діабет 2 типу, серцево-судинні хвороби, стеатогепатит, а також психічні розлади, включно з деменцією та когнітивними порушеннями.

Крім того, було продемонстровано потенційний зв'язок між довголанцюговими SFAs і дисфункцією гіпоталамуса у пацієнтів із ожирінням. Дієта з високим вмістом SFAs також підвищує рівень ліпопротеїнів низької щільності (LDL – Low-Density Lipoproteins) в організмі. Таке збільшення LDL може легко викликати запальну реакцію в ендотелії судин, тим самим збільшуючи ризик серцево-судинних і цереброваскулярних захворювань, таких як атеросклероз. Регулювання профілю жирних кислот у вершковому маслі може допомогти зменшити ризики для здоров'я, пов'язані з SFAs.

Одним із методів зміни складу жирних кислот у молочному жирі є безпосереднє додавання добавок жирних кислот, що є зручним і ефективним способом контролю вмісту конкретних жирних кислот. Однак деякі добавки

можуть мати характерний запах, який може вплинути на смак масла. Щоб уникнути цього, непряме додавання добавок жирних кислот, наприклад спеціальне годування корів, було широко вивчено.

7.4. Вершкове масло, збагачене n-3 жирними кислотами.

Риб'ячий жир

Риб'ячий жир є багатим джерелом довголанцюгових поліненасичених n-3 жирних кислот, таких як α -ліноленова кислота (ALA), ейкозапентаєнова кислота (EPA) та докозагексаєнова кислота (DHA). Високий вміст n-3 жирних кислот у риб'ячому жирі пов'язаний із позитивним впливом на серцево-судинну систему, мозок і нервову систему. Користь споживання риб'ячого жиру підтверджена численними дослідженнями і включає профілактику серцево-судинних захворювань та хвороби Альцгеймера. Крім того, доведено, що жирні кислоти риб'ячого жиру мають терапевтичний ефект при ожирінні, цукровому діабеті 2 типу, депресії, неалкогольній жировій хворобі печінки та інших пов'язаних станах. N-3 жирні кислоти не лише знижують ризик серцево-судинних захворювань, але й покращують серцевий ритм, зменшують ймовірність серцевого нападу, нормалізують артеріальний тиск, рівень ліпідів і розвиток атеросклерозу. Незважаючи на очевидну користь n-3 поліненасичених жирних кислот для здоров'я, їх споживання у щоденному раціоні залишається низьким, тому додавання риб'ячого жиру до їжі є ефективним способом підвищити споживання цих жирних кислот серед населення.



Рис. 39. Риб'ячий жир [41]

Додавання риб'ячого жиру до вершкового масла може підвищити вміст поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) у його складі, що сприяє зниженню ризику серцево-судинних захворювань, пов'язаних зі споживанням масла. Крім того, гідрофільні компоненти вершкового масла підвищують окислювальну стабільність риб'ячого жиру, забезпечуючи більшу поживну цінність продукту. Дослідження показали, що таке масло позитивно впливає на рівень n-3 ПНЖК у плазмі, еритроцитах та клітинах печінки хом'яків порівняно з комерційним вершковим маслом.

Додавання риб'ячого жиру до традиційного вершкового масла змінює його текстуру, підвищуючи адгезію та знижуючи твердість і температуру плавлення. Таке масло відзначається чудовою намазуваністю, проте його сенсорні властивості дещо поступаються звичайному вершковому маслу через виразний запах риб'ячого жиру. При виробництві масла оптимальне співвідношення риб'ячого жиру до вершків становило 5:95 (мас./мас.), що дозволяло досягти вмісту ЕРА у кінцевому продукті до 2,05%.

Щоб мінімізувати вплив характерного запаху риб'ячого жиру, було розроблено кілька методів його непрямого додавання. Одним із підходів є введення риб'ячого жиру в раціон корів. Попередні дослідження показали, що годування корів олією тунця протягом десяти днів підвищувало рівні ЕРА і ДНА у молоці на 6,9 та 10,1 г/кг молочного жиру відповідно, що збільшувало загальну концентрацію n-3 ПНЖК у молочному жирі у 3–4 рази. Вершкове масло, виготовлене з такого молока, було значно м'якшим порівняно з контролем як при 4°C, так і при 20°C. Додавання риб'ячого жиру до раціону корів не впливало негативно на продуктивність тварин або споживчі властивості молока та сиру. Крім того, масло риб'ячого жиру зберігало смакові характеристики, подібні до контрольного масла, і водночас демонструвало покращену окислювальну стабільність. Додавання риб'ячого жиру через раціон корів або безпосередньо в масло підвищує вміст n-3 ПНЖК, робить вершкове масло м'якшим і покращує його окислювальну стабільність, при цьому не погіршуючи смакові властивості чи продуктивність тварин.

7.5. Масло чіа

Насіння чіа містить 15–25 % білка, 30–33 % жиру, 41 % вуглеводів та 18–30 % харчових волокон. Воно також багате поліфенолами і часто використовується для отримання біологічно активних сполук та створення функціональних продуктів.

Олія чіа має більш легкий смак і вищий вміст поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) порівняно з риба́чим жиром. Дослідження показали, що додавання олії чіа до масла може збільшити вміст α -ліноленової кислоти (ALA) шляхом прямого внесення в продукт. Однак висока концентрація ненасичених жирних кислот (UFA – Unsaturated Fatty Acids) у олії чіа знижує окислювальну стабільність вершкового масла порівняно з комерційним аналогом.



Рис. 40. Олія з насіння чіа [42]

Мікрокапсульована олія чіа є ефективним засобом для підвищення окислювальної стабільності n-3 жирних кислот, що робить її ідеальним інгредієнтом для вершкового масла. Додавання 8 % мікрокапсульованої олії чіа до вершкового масла значно збільшувало вміст n-3 жирних кислот у його жирнокислотному профілі і не призводило до істотних змін навіть після 90 днів зберігання. Це підтверджує можливість виробництва вершкового масла, багатого на α -ліноленову кислоту (ALA), шляхом додавання олії чіа. Користь такого масла для здоров'я також була доведена: миші, яких годували маслом, багатим на ALA, демонстрували підвищений термогенез у відповідь на екстремальний

холод, а добавки ALA стимулювали мітохондріальний біосинтез та сприяли ремоделюванню бурої жирової тканини (BAT – Brown Adipose Tissue).

7.6. Лляна олія

Насіння льону має характерний профіль жирних кислот: поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК) складають 73 % від загальної кількості, тоді як насичені жирні кислоти (НЖК) – лише 9 %. Воно містить найвищий вміст α -ліноленової кислоти (ALA) серед усіх відомих рослинних насіння, до 57 %. Додавання лляної олії до раціону ефективно підвищує рівень ПНЖК, проте через високий вміст ПНЖК лляна олія схильна до окислення, що призводить до утворення токсичних пероксидів і може погіршувати якість та безпеку продукту. Тому лляну олію доцільніше використовувати як емульгатор. Вершкове масло, збагачене концентратом лляного сироваткового протеїну у кількості 6,8 %, містило α -ліноленової кислоти у 3,7 рази більше, ніж контрольне масло, забезпечуючи близько 25 % рекомендованого добового споживання. При цьому сенсорні властивості збагаченого масла не погіршувалися.



Рис. 41. Олія з насіння чіа [43]

Окрім олії чіа та лляної олії, традиційні рослинні олії, такі як оливкова, рапсова та кунжутна, також багаті n-3 ненасиченими жирними кислотами (UFA). У останні роки їхня користь для здоров'я була широко досліджена. Було виявлено, що деякі нові олії, наприклад, олія шавлії, також містять n-3 UFA і

можуть замінювати до 10 % рослинних жирів у продуктах харчування та напоях. У 2014 році, відповідно до Регламенту Комісії ЄС № 258/97, олія шавлії була визнана новим харчовим інгредієнтом і схвалена для використання як харчова добавка. Поєднання цих олій, багатих на n-3 UFA, з вершковим маслом відкриває перспективи для створення нових сортів масла з підвищеним вмістом ненасичених жирних кислот.

7.7. Вершкове масло, збагачене кон'югованими лінолевими кислотами

Лінолева кислота є незамінною жирною кислотою, а її достатнє споживання може знизити ризик атеросклерозу та серцево-судинних захворювань. Кон'югована лінолева кислота (CLA – Conjugated Linoleic Acid) представляє собою групу ізомерів із двома кон'югованими подвійними зв'язками, розташованими у різних положеннях у молекулі жирної кислоти. Помірне споживання CLA може зменшувати рівень холестерину, скорочувати жирові відкладення та потенційно знижувати ризик розвитку хвороб. Збагачення раціону молочних корів жиром, багатим олеїновою та лінолевою кислотами, підвищує вміст CLA у молочних продуктах. Вершкове масло, збагачене CLA, порівняно з комерційним маслом, має подібний сенсорний профіль, але відзначається більш насиченим ароматом, меншим запахом кип'яченого молока та покращеною здатністю до намазування. Крім того, воно демонструє кращу стабільність під час зберігання, що може бути зумовлено високим вмістом α -токоферолу та антиоксидантними властивостями CLA.

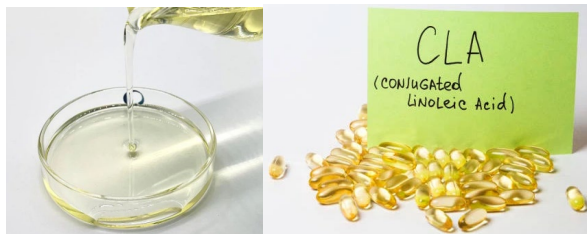


Рис. 42. CLA-кон'югована лінолева кислота [44]

Додавання НЖК може знизити ризик серцево-судинних захворювань. Однак нестабільність UFA призводить до зниження стабільності вершкового масла, збагаченого UFA, під час зберігання, що призводить до утворення небажаних смакових сполук. Наприклад, гексанал, гептанал, (Е)-2-ноненал, (Е, Е)-2,4-гептадієнал і (Е, Z)-2,6-нонадієнал можуть утворюватися автоокисленням арахідонової, лінолевої та ліноленової кислоти. Металевий запах вершкового масла, викликаний світлом, також може виникнути в результаті виробництва транс-4,5-епокси-(Е)-2-деценала лінолевою кислотою. Тому для підвищення стабільності збагаченого вершкового масла часто потрібні додаткові методи при додаванні НЖК у масло. Крім того, потенційні можливості застосування інших функціональних олій у вершковому маслі, включаючи n-3 ПНЖК, n-6 ПНЖК, соєву та оливкову олію не досліджувалися. Майбутні дослідження можуть вивчити поєднання цих функціональних жирів з маслом для підвищення його харчової цінності.

7.8. Виведення холестерину з вершкового масла

Серед усіх молочних продуктів вершкове масло містить найбільшу кількість холестерину – 2483,44 мг/кг, що значно перевищує його вміст у м'якому (387,50 мг/кг) та твердому сирах (382,18 мг/кг). Холестерин необхідний для нормального функціонування організму, оскільки він відіграє важливу роль у клітинних процесах і синтезі гормонів, а недостатнє його споживання може підвищувати ризик депресії та серйозних захворювань, таких як мозкові крововиливи. Раніше вважалося, що надмірне споживання холестерину безпосередньо підвищує його рівень у крові та збільшує ризик атеросклерозу, тому в 1977 році Рекомендації США обмежували щоденне споживання холестерину до 300 мг. Проте подальші дослідження показали, що дієта впливає лише на невелику частку підвищення рівня холестерину та ліпопротеїнів низької щільності, тоді як основним чинником є генетичний метаболізм. Це означає, що

рівень холестерину в організмі може зростати навіть за обмеженого споживання холестерину з їжею.

У 2015 році Дієтичні рекомендації США скасували добовий ліміт споживання 300 мг продуктів, багатих на холестерин. Однак це не означає, що холестерин не має відношення до серцево-судинних захворювань. Серцево-судинні та цереброваскулярні захворювання, викликані дієтами з високим вмістом холестерину, є одними з основних захворювань, що спричиняють більшість смертей сьогодні. Американські клінічні практичні рекомендації щодо зниження рівня холестерину 2018 року, спільно розроблені Американською кардіологічною асоціацією (АНА), Американським коледжем кардіології (АСС) та іншими академічними установами, були офіційно видані. Головна рекомендація наголошує, що ведення здорового способу життя є ключовим для зниження ризику атеросклеротичних серцево-судинних захворювань, причому до цього способу життя належить, зокрема, правильне і збалансоване харчування. Визнана модель здорового харчування акцентує увагу на споживанні продуктів із низьким вмістом холестерину, таких як фрукти, овочі, цільнозернові продукти та молочні вироби з низьким або знежиреним вмістом жиру. В умовах зростаючого попиту споживачів на дієти з низьким вмістом холестерину, виробництво вершкового масла з пониженою концентрацією холестерину стало новою тенденцією в маслоробній промисловості.

Було розроблено кілька методів видалення холестерину з продуктів, зокрема екстракцію органічними розчинниками та надкритичною рідиною. Хоча ці методи ефективні у видаленні холестерину, вони не завжди селективні і можуть призводити до втрати інших поживних речовин. Дослідження також демонструють можливість використання мікроорганізмів або ферментів, а також різних сполук, таких як фітостероли, пектин і β -циклодекстрин (β -CD), для зниження вмісту холестерину. У виробництві вершкового масла мікроорганізми та β -CD застосовуються для видалення холестерину з урахуванням технологічних процесів і властивостей продукту. Водночас використання інших методів у вершковому маслі досі майже не вивчалось.

7.9. Видалення холестерину мікроорганізмами

Молочнокислі бактерії (головним чином, включаючи *лактобактерії* та *біфідобактерії*) часто додають до їжі як біологічно активні компоненти, забезпечуючи різноманітні фізіологічні функції, такі як антибактеріальна активність і антиканцерогенна активність. Кілька досліджень показали, що кисломолочні продукти, які містять пробіотики, можуть значно знизити рівень холестерину. Крім того, споживачі зазвичай віддають перевагу мікробним методам зниження рівня холестерину на відміну від фізичних методів, оскільки вони вважають, що це може покращити смак молочних продуктів, одночасно покращуючи текстуру вершкового масла.

Було оцінено здатність молочнокислих бактерій, виділених із традиційно ферментованого корейського кімчі, ефективно засвоювати холестерин. Вершкове масло після бродіння містило 108 КУО/г живих клітин, що призвело до зниження рівня холестерину на 11 % порівняно з контрольною групою. Для ферментації сиру використовували *Lactobacillus casei* VC199, *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* SE160 і VC213, *Lactobacillus plantarum* VS166 і VS513, *Enterococcus faecium* VC223 та *Enterococcus lactis* BT161, що дозволило досягти зниження холестерину до 23 % після 60 днів бродіння. Високий вміст жиру у вершках ускладнює відділення бактеріальних клітин за допомогою центрифугування, обмежуючи ефективність видалення холестерину. Для подолання цієї проблеми дослідники застосували кульки альгінату кальцію, які полегшують відділення бактеріальних клітин і забезпечують більш повне видалення холестерину. В результаті отримане вершкове масло мало на 44 % менший вміст холестерину порівняно з традиційним, зберігаючи при цьому органолептичні та технологічні властивості продукту. Цей підхід демонструє потенціал використання молочнокислих бактерій і технологій мікрокапсулювання для створення більш здорового вершкового масла з низьким вмістом холестерину. Ферментація вершкового масла молочнокислими бактеріями у поєднанні з технологією кульок альгінату кальцію дозволяє значно

знизити вміст холестерину, при цьому зберігаючи якість та органолептичні властивості продукту, що відкриває перспективи виробництва більш здорового масла.

7.10. Видалення холестерину шляхом додавання β -циклодекстину (β -CD)

β -CD є тороподібним циклічним олігосахаридом, що складається з α - (1,4)- зв'язаних конденсованих одиниць глюкози, отриманих із крохмалю за допомогою ферменту циклодекстрин глюкозилтрансферази. Гідрофобна внутрішня порожнина та гідрофільна зовнішня структура β -CD дозволяють йому огортати молекули холестерину у співвідношенні 2:1, утворюючи комплекс. Оскільки розмір порожнини в молекулярній структурі β -CD ідеально підходить для молекул холестерину, ця процедура є високоселективною щодо холестерину. Ця техніка дозволяє видаляти холестерин за допомогою β -CD методу, водночас практично не впливаючи на залишкову поживну цінність і профіль смаку вершкового масла.

Зниження вмісту холестерину у вершковому маслі на 95,6 % було досягнуто шляхом додавання 5,0 % β -циклодекстину (β -CD), у результаті чого його концентрація становила 108,66 мг/кг порівняно з контрольним зразком. В інших дослідженнях застосування β -CD забезпечувало видалення близько 90 % холестерину, залишаючи в готовому продукті 300,4 мг/кг. Також було оптимізовано технологічні параметри використання β -CD, зокрема його концентрацію та метод комплексоутворення з холестерином. Вершкове масло з додаванням 10 % β -CD продемонструвало найвищу ефективність видалення холестерину – до 90,7 %.

Запропоновано застосовувати β -CD як ефективний засіб зниження вмісту холестерину без суттєвого впливу на колір і текстуру масла. Загальна кольорова різниця (ΔE) перебувала в межах 0,25–1,13, що відповідає допустимим сенсорним показникам. Водночас окремі дослідження вказують, що

використання β -CD може певною мірою знижувати консистенцію продукту, що потребує подальшої оптимізації рецептури та технологічних режимів.

Встановлено, що додавання β -ситостерилеату покращує фізико-хімічні характеристики вершкового масла зі зниженим вмістом холестерину, формуючи більш щільну та в'язку консистенцію. Крім того, ця сполука здатна зменшувати всмоктування холестерину в кишечнику, що додатково підсилює оздоровчий потенціал продукту. Вершкове масло, отримане таким способом, за текстурними показниками є подібним до традиційного, водночас воно має в своєму складі лише близько 4,9 % холестерину від його рівня у звичайному маслі.

Видалення холестерину з вершкового масла за допомогою інноваційних технологічних процесів може покращити сенсорні якості та текстуру вершкового масла. Спосіб видалення холестерину вершкового масла за допомогою β -CD є простим, ефективним, економічно вигідним і може бути реалізований на сучасних технологічних лініях. Крім того, β -циклодекстрин (β -CD) схвалений європейськими регуляторними органами як харчова добавка та вважається безпечним для споживання людиною. Вершкове масло зі зниженим вмістом холестерину, отримане із застосуванням цих двох підходів, може розглядатися як функціональний харчовий продукт, що становить важливий крок у зменшенні ризиків для здоров'я, пов'язаних із тривалим надмірним споживанням холестерину з продуктами тваринного походження.

7.11. Функціональне вершкове масло для поліпшення харчування

7.11.1. Вершкове масло, ферментоване пробіотиками

Пробіотики відносяться до живих мікроорганізмів, які забезпечують користь для здоров'я людей при введенні в адекватних кількостях. Пробіотики приносять користь здоров'ю головним чином за рахунок покращення імунної функції та резистентності шляхом балансування кишкової мікробіоти та пригнічення росту патогенних бактерій. Крім того, вони продемонстрували потенціал у зниженні рівня холестерину та полегшенні непереносимості лактози.

Окремі дослідження свідчать, що пробіотики можуть відігравати роль у профілактиці та підтримувальній терапії неврологічних розладів. Як пробіотики застосовують різні мікроорганізми, зокрема представників родів *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Bifidobacterium*, а також деякі дріжджі. У виробництві кисловершкового масла як заквасочні культури використовують переважно мезофільні молочнокислі бактерії, зокрема *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis*, які забезпечують формування характерного аромату та смаку продукту. Ферментація вершків різними мікроорганізмами значно впливає на фізико-хімічні властивості, поживний склад і сенсорні якості вершкового масла. Здорові продукти, що позиціонуються як пробіотичні, повинні містити достатню кількість живих бактерій. Дослідження показують, що для досягнення товстої кишки концентрація пробіотиків у продукті має становити близько 10^7 КУО/г. Для того щоб забезпечити додаткові користі пробіотиків для здоров'я, їжа повинна містити щонайменше 10^8 – 10^9 КУО/г живих клітин, що дозволяє зберегти біологічну активність під час зберігання та травлення.

Процеси переробки та зберігання вершкового масла впливають на життєздатність пробіотиків, що створює складності при розробці нових масляних продуктів із високим рівнем активних мікроорганізмів. Наприклад, протягом 4-тижневого зберігання в холодильних умовах виживаність клітин *Bifidobacterium lactis* у вершковому маслі знижувалася, причому кількість живих клітин у останній тиждень зменшилася більш ніж на один логарифмічний цикл.

Досліджували також виживаність штамів *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 та *Bifidobacterium bifidum* ATCC 29521 у ферментованому вершковому маслі протягом 60 днів холодного зберігання. Після 30 днів продукт все ще зберігав пробіотичні властивості, а рівень активних пробіотиків перевищував 10^6 КУО/г. Проте це все ще не досягало ідеального рівня пробіотиків для максимального ефекту.

Технологія мікрокапсулювання дозволяє поміщати пробіотики всередину капсул, захищаючи їх від несприятливих умов та підвищуючи їхню життєздатність і стабільність. Поєднання інкапсуляції та пробіотиків є

ефективним рішенням проблеми нестабільності живих мікроорганізмів у харчових продуктах. Зокрема, технологію інкапсуляції застосували для введення *Lactobacillus acidophilus* у вершкове масло зі зниженим вмістом натрію, а потім моделювали його проходження через шлунково-кишковий тракт для оцінки виживання пробіотиків. Результати показали, що зразок з 5 г/100 г пробіотичних капсул продемонстрував низьку виживаність після моделювання травного тракту, тоді як капсули з 10 г/100 г пробіотиків забезпечили значно кращі результати.

Спеціальні штами пробіотиків, які використовуються в процесі бродіння вершкового масла, не тільки запобігають псуванню, але й можуть змінювати його сенсорні властивості. Вивчено фізико-хімічні та реологічні властивості вершкового масла, виготовленого з вершків, ферментованих *Lactobacillus helveticus*. Аналіз після ферментації показав, що вміст жиру та кислотне число вершкового масла помітно зросло, тоді як вологість знизилась. Бродіння також впливає на консистенцію та поживну цінність вершкового масла. Ферментоване масло має більш м'яку текстуру та містить більшу кількість ненасичених жирних кислот у порівнянні з контрольною групою. Крім того, розмір пробіотичних капсул, що додаються до продукту, може впливати на споживчу прийнятність. Для інкапсуляції використовували видимі капсули з *Lactobacillus acidophilus* та *Bifidobacterium bifidum*, які додавали до масла. Незважаючи на наявність великих частинок у маслі, що містило 10% капсул, продукт демонстрував хорошу прийнятність за всіма показниками оцінки – 81,1% споживачів висловили намір його купити.

Додавання пробіотиків у функціональні харчові продукти стає дедалі поширенішим через їх важливу роль у підтримці здорового харчування. Проте інтеграція пробіотиків у ферментовані молочні продукти часто стикається з проблемами, оскільки життєздатність та стабільність мікроорганізмів можуть знижуватися через низький рН і умови зберігання. Різні підходи, такі як технологія інкапсуляції та використання кріопротекторів, дозволяють стабілізувати пробіотики під час обробки та зберігання. Сучасні дослідження

здебільшого спрямовані на вивчення впливу додавання пробіотиків до вершкового масла на його фізико-хімічні властивості та сенсорні характеристики. Подальші метаболомічні дослідження можуть дати всебічне уявлення про склад метаболітів, що впливають на аромат і поживні властивості продукту.

7.12. Антиоксидантне або антибактеріальне масло

Зберігання вершкового масла супроводжується розпадом і окисленням ліпідів, що призводить до псування. Цей факт призводить до дефектів смаку, втрати кольору та поживної цінності, і навіть може бути шкідливим для здоров'я споживачів. Додавання антиоксидантів є ефективним методом уповільнення окислення ліпідів. Однак суворі правила щодо синтетичних харчових добавок і канцерогенні властивості деяких синтетичних антиоксидантів переорієнтували увагу виробників на природні антиоксиданти. Хоча найчастіше псування масла є хімічним за своєю природою, небажані мікроби також можуть сприяти розвитку згірклого смаку.

Вершкове масло, що зберігалось при температурі нижче 5 °C, може піддаватися гниттю та ліполізу, що сприяє росту холодостійких бактерій, дріжджів і цвілі. Крім того, у такому маслі можуть бути присутні патогенні мікроорганізми, зокрема *Staphylococcus aureus* та *Listeria monocytogenes*, що здатні спричинити псування продукту.

Для підвищення окислювальної та мікробної стабільності вершкового масла досліджували додавання різних природних антиоксидантів та антибактеріальних компонентів. Такі добавки сприяють тривалому збереженню якості масла та можуть додатково надавати продукту функціональні властивості для здоров'я споживачів.

Додавання природних антиоксидантів та антибактеріальних компонентів підвищує стабільність вершкового масла та надає йому корисних для здоров'я властивостей.

7.13. Додавання у масло екстракту зеленого чаю

Зелений чай є природним джерелом поліфенолів, зокрема мономерів флаванолу, відомих як катехіни, які володіють різноманітними потенційними перевагами для здоров'я. Зелений чай застосовували для профілактики та лікування серцево-судинних захворювань, проблем порожнини рота, хвороби Паркінсона, хвороби Альцгеймера, діабету, а також запальних захворювань кишківника та шкіри. Додавання екстракту зеленого чаю сприяло покращенню поживних властивостей різних харчових продуктів і напоїв.

Екстракт зеленого чаю використовували як компонент для створення вершкового масла з високою доданою вартістю. Масло, збагачене екстрактом зеленого чаю, показало значно вищі антиоксидантні властивості, зокрема загальний фенольний вміст і активність, порівняно з контрольним зразком. Після шести тижнів зберігання масло з екстрактом зеленого чаю характеризувалося нижчим перекисним числом, а також зменшеною кількістю дріжджів і цвілі. Хоча додавання екстракту зеленого чаю вплинуло на зміну кольору масла, зменшуючи світлість і інтенсивність жовтизни, виявлено, що 6% екстракту не знижує сенсорну прийнятність продукту. Як природний антиоксидант і консервант, екстракт зеленого чаю ефективно сприяє збереженню властивостей вершкового масла.

7.14. Додавання у масло побічних продуктів переробки томатів

Лікопін є жиророзчинним каротиноїдом із високою антиоксидантною активністю та певним серцезахисним ефектом, що останнім часом привертає увагу дослідників і споживачів. Побічні продукти переробки томатів є багатим джерелом лікопіну, а також деяких фенольних сполук. Дослідження показали успішне використання лікопіну у різних функціональних харчових продуктах, таких як локшина, рослинні олії та морозиво. Виявлено, що пероксидне число зразків вершкового масла, до яких було додано 400 мг/кг екстракту лікопіну,

залишалося найнижчим навіть після 60 днів зберігання. Таким чином, побічні продукти переробки томатів можуть ефективно використовуватися як природний захисний агент для запобігання перекисному окисленню ліпідів у вершковому маслі.

7.15. Додавання у масло порошку фундука

Фундук є багатим джерелом мононенасичених жирних кислот і містить високий вміст фітостеролів, які завдяки своїй структурній подібності до холестерину можуть пригнічувати його всмоктування в кишечнику. Це, у свою чергу, сприяє зниженню загального рівня холестерину в плазмі крові та рівня ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ).



Рис. 43. Фундук і порошок фундука [45]

Було вперше вивчено вплив додавання порошку фундука на хімічні та сенсорні властивості вершкового масла, а також на його жирнокислотний профіль і вміст токоферолу. У збагачених зразках перекисне число було значно нижчим, ніж у контрольного масла, що можна пояснити наявністю антиоксидантних сполук у лісових горіхах, таких як токоферолі, фітостероли та сквален. Додавання фундука сприяло підвищенню рівня α -токоферолу у вершковому маслі. Крім очевидних поживних переваг, фундук покращував розподіл масла, а дослідження показали, що збагачене фундуком вершкове масло було такою ж стабільним щодо сенсорних і фізико-хімічних властивостей, як і контрольний зразок. Додавання порошку фундука до вершкового масла підвищує його антиоксидантні властивості, збагачує вміст α -токоферолу та покращує жирнокислотний профіль, не погіршуючи сенсорні та фізико-хімічні

характеристики продукту. Це свідчить про потенціал створення функціонального масла з додатковими поживними перевагами та стабільністю.

7.16. Додавання у масло екстракту кориці

Додавання екстракту кориці до вершкового масла покращує його антиоксидантні та консервувальні властивості. Сполуки кориці ефективно нейтралізують вільні радикали, пригнічують ріст дріжджів і цвілі, а коричний альдегід додатково підвищує мікробну стабільність продукту. Застосування 3% екстракту кориці забезпечує оптимальну споживчу привабливість, при цьому хімічний склад масла відповідає стандартам і демонструє нижчий рівень вільних жирних кислот порівняно з контролем та зразком із сорбатом. Це свідчить про перспективність використання кориці як природного консерванту для виробництва функціонального вершкового масла.



Рис. 44. Екстракт кориці [46]

Антиоксиданти відіграють ключову роль у захисті тканин від пошкоджень, спричинених вільними радикалами, шляхом запобігання їх утворенню, нейтралізації або сприяння їх розщепленню. Останні дослідження свідчать, що синтетичні антиоксиданти можуть негативно впливати на здоров'я людини, що підвищує інтерес до пошуку природних сполук, які є ефективними, нетоксичними та володіють антиоксидантною активністю. Натуральні рослинні екстракти сьогодні розглядаються як основне джерело для розробки антиоксидантів. Крім власних ендогенних систем захисту організму, споживання

антиоксидантів із їжею є прийнятним і ефективним способом підтримки здоров'я, що робить їх додавання у функціональні продукти харчування важливою стратегією.

7.18. Масло, вироблене з функціонального молока

Хоча коров'яче молоко традиційно використовується для виробництва вершкового масла, інтерес до створення функціонального молочного масла постійно зростає через підвищену обізнаність споживачів про користь функціональних продуктів харчування. Дослідження показують, що молоко деяких інших видів тварин може мати вищу харчову цінність порівняно з коров'ячим. Саме таке молоко стає основою для виробництва функціонального масла, оскільки кожен вид відрізняється специфічними функціональними властивостями.

7.18.1. Масло з овечого та козячого молока

Овече молоко містить майже вдвічі більше білка, ніж коров'яче, характеризується високим вмістом жиру та багате на необхідні вітаміни, лецитин, рибофлавін і ряд важливих мінералів. Його амінокислотний склад є особливо корисним для здоров'я людини: зокрема, високий вміст проліну сприяє синтезу людського гемоглобіну. Основною жирною кислотою жиру козячого молока є олеїнова кислота, яка допомагає знижувати рівень ЛПНЩ-холестерину. Жир також містить значну кількість лінолевої кислоти – поліненасиченої жирної кислоти, споживання якої пов'язане зі зниженням ризику серцево-судинних захворювань, таких як атеросклероз і тромбоз.

Менший розмір жирових кульок у козячому молоці порівняно з коров'ячим сприяє легшому травленню та забезпечує більш кремову текстуру, що підвищує якість виробленого з нього масла. Унікальний склад вільних жирних кислот надає овечому молоку виразного смаку, який передається молочним продуктам, зокрема овечому маслу, формуючи більш насичений

смаковий профіль порівняно з козячим маслом. Крім того, овече молоко може бути кращою альтернативою для людей, які мають алергію або проблеми з перетравленням коров'ячого молока.



Рис. 45. Масло з молока овець і кіз [47, 48]

В останні роки виробництво молока від дрібних жуйних тварин, таких як вівці і кози, зростає. Надлишок молока вимагає нових ринкових можливостей. Багато досліджень підтвердили потенціал і переваги використання овечого молока для виробництва сиру, йогурту та масла. Порівняно відмінності у фізичних властивостях між звичайним вершковим маслом і овечим маслом. Овече масло твердіше, ніж звичайне коров'яче масло при 5 °C, але має більшу швидкість танення, коли воно наближається до кімнатної температури. Воно починає розм'якшуватися приблизно при 18 °C. Ця температурна чутливість вимагає вищих температур навколишнього середовища для виробництва та транспортування, що може обмежити виробництво овечого масла.

Окрім впливу на фізичні властивості, тип молока, що використовується у виробництві масла, також впливає на його смакові характеристики. Історично традиційне коров'яче масло вважалося еталоном чудового смаку. Тому проведення сенсорних оцінок є вирішальним кроком у розробці овечого масла. Було ідентифіковано леткі сполуки в коров'ячому, овечому та козячому маслі за допомогою методу SPME/GC–MS. Результати показують, що 2-деканал, 5-метил-2-гексанол, 6-метил-1-гептанол, 3-метил-2-бутанол, α -терпінен і γ -терпінен були виявлені лише в овечому маслі. 2,4-гексادیєнал, 2-октанон, гептанол і 1-нонанол були виявлені тільки в козячому маслі. Отримані дані

свідчать про те, що овече масло має унікальні смакові характеристики порівняно з коров'ячим. Хоча деяким споживачам виразний аромат овечого молока може здаватися привабливим, інші можуть сприймати його як неприємний. З метою створення альтернативи для споживачів, які негативно реагують на запах овечого або козячого молока, було запропоновано змішування коров'ячого та козячого молока для виробництва масла. Вперше було досліджено характеристики такого продукту, а також його вплив на сприйняття смаку та поведінку споживачів.

Дослідження показало, що зразки масла, виготовлені з 60% козячого та 40% коров'ячого молока, мали більш виразний смаковий профіль порівняно зі зразками, приготованими виключно з коров'ячого молока. Крім того, додавання козячого молока спричинило більш липку та щільну текстуру масла. Такі зразки також містили вищі концентрації коротко- та середньоланцюгових насичених жирних кислот, а також поліненасичених жирних кислот, що забезпечувало краще травлення та підвищене споживче задоволення.

Природний колір вершкового масла формується завдяки каротиноїдам, які тварини споживають на пасовищі. Через ефективніше перетворення харчових каротиноїдів на вітамін А масло з козячого молока має більш білий відтінок порівняно з коров'ячим. Натомість вищий вміст каротину в коров'ячому маслі надає йому приємного жовтого кольору, який зазвичай подобається споживачам. Для покращення зовнішнього вигляду козячого масла дослідники вивчали використання природних пігментів. Обліпіха є багатим джерелом корисних для здоров'я речовин, таких як вітаміни А, С і Е, поліненасичені жирні кислоти, фенольні сполуки (зокрема флавоноїди) та фітостероли. Було показано, що додавання пюре з обліпіхи до козячого масла як природного барвника є успішним. Використання пюре підвищувало кислотність і клейкість масла, покращувало його здатність до диспергування при низьких температурах та змінювало природний білий відтінок масла. Після додавання 1,5% пюре плодів обліпіхи кількість споживачів, яким подобалось козяче масло, зросла на 35%.

Процес зберігання масла може призводити до втрати бажаних смакових якостей та утворення сполук, що негативно впливають на його смак. Було досліджено стійкість до окислення та сенсорні характеристики масла, виготовленого з коров'ячого, овечого та козячого молока. Перекисне число овечого та козячого масла зростає під час зберігання, причому козяче масло демонструє найвищий рівень окислення, за ним слідує овече, а найповільніше окислюється коров'яче масло. Внаслідок підвищеної кислотності та появи гнильного смаку через окислення, козяче та овече масла отримують нижчу сенсорну оцінку порівняно з коров'ячим, яке зберігає смакові якості довше.

Для подовження терміну зберігання овечого масла застосовували гамма-випромінювання під час виробництва. Ця технологія допомагає вирішувати проблеми якості та безпеки продуктів, запобігаючи поширенню патогенних мікроорганізмів та контролюючи псування, при цьому не змінюючи істотно сенсорні характеристики. Попередні дослідження показали, що опромінення ефективно запобігає псуванню молочних продуктів. Проте деякі дослідження не виявили значного впливу гамма-випромінювання на термін зберігання козячого масла.

Хоча овече та козяче масла мають високу поживну цінність і легше перетравлюються, їх сенсорні властивості та стабільність при зберіганні поступаються коров'ячому маслу. Це підкреслює необхідність подальшого вдосконалення технологій виробництва та застосування методів підвищення терміну зберігання і покращення смаку.

7.18.2. Масло з верблюжого молока

Верблюже молоко є багатим джерелом вітамінів, мінералів і захисних білків з антидіабетичними та антибактеріальними властивостями. Його терапевтичний ефект підтверджений при численних захворюваннях, таких як набряки, жовтяниця, порушення функцій селезінки, туберкульоз, астма, анемія та геморой. Пацієнти з хронічним гепатитом повідомляли про покращення

функції печінки після вживання верблюжого молока. У регіонах Сахари масло, виготовлене з верблюжого молока, часто використовують як лікувальний засіб. Це молоко має збалансований склад незамінних амінокислот, високий вміст легко гідролізованого β -казеїну та не містить алергенного β -лактоглобуліну. Очікується, що протягом наступних кількох років ринок продуктів з верблюжого молока демонструватиме помірне зростання.

Хоча верблюже молоко має багато переваг для здоров'я, воно все ще не так широко використовується, як коров'яче молоко у виробництві масла. Склад жиру і білка в верблюжому молоці відрізняється від коров'ячого. Таким чином, виробничий процес, який використовується для масла з коров'ячого молока, не підходить для масла з верблюжого молока. Більш ранні дослідження показали, що верблюже молоко непридатне для виробництва масла через відсутність лектину, який є білком, який сприяє агрегації жирових кульок. Більше того, висока частка довголанцюгових жирних кислот і товстих жирових кулькових мембран у верблюжому молоці призводять до того, що верблюже масло має значно вищу температуру плавлення, ніж масло коров'ячого молока.

Дослідження, присвячені верблюжому маслу, здебільшого зосереджувалися на розробці технології його виробництва. У деяких кочових спільнотах свіже або ферментоване верблюже молоко використовується як основний інгредієнт у традиційних ручних методах виготовлення масла, проте вихід продукту в таких умовах часто є недостатнім. У літературі зазначено, що оптимальний метод отримання верблюжого масла передбачає перемішування вершків при температурі 15–20 °C протягом 10–18 хвилин. Також вказується, що для виробництва масла температура перемішування повинна становити 15–36 °C, з оптимальною температурою 25 °C, що дозволяє досягти виходу масла до 85 %.

Вихід масла можна підвищити шляхом модифікації процесу перемішування: ферментація вершків при кімнатній температурі з подальшим вертикальним перемішуванням при 22–23 °C протягом 120 хвилин, із збільшенням сили і тривалості перемішування, дозволяє підвищити вихід

вершкового масла до 80 %. Формування частинок верблюжого масла відбувається лише за умови, що вміст твердого жиру у вершках нижчий за 27,5 %, а перемішування проводиться при рівно 21 °С.

Дослідження також показали вплив лактаційного періоду на виробництво масла. Генетичні фактори, пов'язані з лактацією, впливають на хімічний склад молока. Зокрема, підвищений вміст білка та жиру у верблюжому молоці під час пізньої лактації сприяє більш високому виходу вершкового масла.

Верблюже масло характеризується білим кольором і високою температурою плавлення, проте його смак є відносно м'яким. Тому вершкове масло з верблюжого молока може виконувати не лише роль джерела харчових поживних речовин або кулінарного жиру, а й служити пробіотичною харчовою добавкою для споживачів.

Окрім овечого та верблюжого молока, інші види тваринного молока також мають потенціал для використання у виробництві масла. Дослідження свідчать, що буйволине молоко завдяки високому вмісту жиру є оптимальним інгредієнтом для виготовлення масла. Склад білків і жирів у буйволиному молоці не суттєво відрізняється від традиційного коров'ячого, проте воно містить більшу кількість жиророзчинних вітамінів, що може надавати масляним продуктам додаткові користі для здоров'я. В останні роки спостерігається зростання наукового інтересу до функціонального масла, виготовленого з молока різних видів тварин, і різні джерела молока розглядаються як перспективна сировина для його виробництва.

7.19. Замінники вершкового масла

Що стосується складу, то високий вміст жиру, насиченого жиру та холестерину в натуральному вершковому маслі становить ризик для здоров'я споживачів. Порівняно з іншими молочними продуктами та рослинами, масло, як продукт тваринного походження, має більший негативний вплив на

навколишнє середовище через високий рівень викидів парникових газів протягом усього життєвого циклу.

У відповідь на це дослідження натуральних заміників вершкового масла, таких як масло рослинного походження, масло мікробів, масло комах і клітинне масло, швидко просуваються з метою вирішення як потенційних ризиків для здоров'я, так і впливу натурального масла на навколишнє середовище.

7.19.1. Нові рослинні олії

Ши – це рослинна олія високої економічної цінності, вміст жиру в горіхах якої перевищує 60%. Жирнокислотний склад екстрагованої олії ши є оптимальним для використання як заміника вершкового масла, не містить молочних продуктів і водночас є більш екологічним порівняно з натуральним маслом. Хоча кілька досліджень повідомляли, що масло ши, змішане з пальмовим жиром, може бути ідеальною заміною масла какао, його застосування для виробництва вершкового масла досі не було досліджене.



Рис. 46. Масло ши [49]

Окрім масла каріте, авокадо також багате на поліненасичені жирні кислоти та не містить холестерину, що робить його перспективним інгредієнтом для заміни традиційного масла на більш здоровий варіант. Було продемонстровано інноваційний спосіб створення натурального функціонального вершкового масла, збагаченого n-3 жирними кислотами, шляхом змішування трав'яного

коров'ячого масла з олією авокадо, соком та м'якоттю авокадо, із додаванням природного антиоксиданту – вітаміну Е.

7.19.2. Мікробне масло

Мікробна олія (масло) виробляється шляхом поєднання технології культивування мікроорганізмів із процесами обробки олії. Гриби, дріжджі, бактерії та водорості здатні синтезувати мікробну олію, при цьому склад і співвідношення жирних кислот залежать від конкретного виду мікроорганізму. Харчові мікробні олії мають численні переваги, зокрема високу чистоту, функціональність, безпеку та незалежність від сезонних чи кліматичних обмежень у виробництві. Одноклітинні водорості, зокрема *Schizochytrium* sp., є одними з найретельніше вивчених мікроорганізмів для виробництва харчових продуктів. Європейська комісія схвалила використання олії *Schizochytrium* sp. як новий функціональний харчовий інгредієнт. Мікробна олія є цінним джерелом функціональної олії для різних харчових технологій, таких як виробництво маргарину, та відкриває нові можливості для створення функціонального вершкового масла з корисним для здоров'я профілем жирних кислот.

7.19.3. Масло від комах

Ліпіди, отримані з овода та борошнистої роси, можуть ефективно використовуватися як альтернатива натуральному вершковому маслу. Дослідження показали, що при заміні 75% масової частки масла ліпідами комах колір, текстура та покривні властивості масляних продуктів залишалися стабільними, що свідчить про їхню здатність зберігати сенсорні та функціональні характеристики продукту. Крім того, окремі експерименти з випічкою демонструють, що заміна 25% вершкового масла жиром комах не впливає на смакові властивості або сприйняття продукту споживачами, що підтверджує потенціал цієї сировини для використання у харчових продуктах. Ліпіди комах мають додаткову перевагу, оскільки їх виробництво є більш екологічним,

допомагаючи зменшити навантаження на довкілля порівняно з традиційним тваринним жиром. Враховуючи доступність цієї сировини у великій кількості та її функціональні властивості, використання ліпідів комах у виробництві маргарину та інших замінників масла є перспективним напрямом, який потребує подальших досліджень для оптимізації технологічних процесів і оцінки харчової безпеки.

7.19.4. Клітинне масло

Нещодавні прориви в синтетичній біології та пов'язаних із нею передових галузях, таких як автоматизація, 3D-біодрук та штучний інтелект, стимулювали інновації у клітинних фабриках або клітинному сільському господарстві. Метод експресії дріжджових клітин був використаний для створення штучного молока, і його також можна застосувати для виробництва клітинного масла. Крім того, очікується, що глобальний поштовх до «вуглецевої нейтральності» та екологічних практик сприятиме майбутнім дослідженням клітинних фабрик, що виробляють масло.

Сучасні споживачі звернули увагу на занепокоєння щодо сенсорної якості та ризику для здоров'я споживання вершкового масла. Функціональне масло досягло значних успіхів завдяки своїм потенційним перевагам для здоров'я порівняно з традиційним маслом.

Додавання добавок із ненасиченими жирними кислотами (UFA) може безпосередньо або опосередковано покращити склад жирних кислот у вершковому маслі. Пряме введення таких добавок є швидким і простим методом, однак деякі з них мають виражений запах, що може негативно позначатися на смакових якостях масла. Для подолання цього недоліку можна опосередковано доповнювати раціон корів, здійснюючи повний цикл годівлі цими добавками, проте цей процес потребує значного часу.

Включення β -циклодекстрину (β -CD) або певних мікроорганізмів у вершкове масло дозволяє знизити рівень холестерину, причому β -CD демонструє

високий потенціал у цьому напрямку. Ферментація з пробіотиками підсилює користь вершкового масла для здоров'я та водночас покращує його смак і продовжує термін зберігання. Додавання натуральних антиоксидантних і антибактеріальних компонентів забезпечує стабільність продукту протягом усього періоду зберігання та підвищує його функціональні властивості для організму людини. Крім того, використання нових жирів, зокрема рослинних, мікробних і ліпідів комах, відкриває перспективи створення реальних альтернатив традиційному вершковому маслу. Такі олії дозволяють досягти бажаної пластичності та функціональності маргарину, а також забезпечують екологічну стійкість, що сприяє сталому розвитку харчової промисловості.

Дослідження функціонального масла стикається з низкою проблем. По-перше, необхідно перевіряти реальні функціональні властивості покращеного масла. Хоча більшість наукових робіт приділяє увагу наявності функціональних інгредієнтів і їхньому впливу на масляні продукти, недостатньо даних щодо демонстрації їх реального позитивного впливу на здоров'я тварин або людей. Тому необхідно проводити додаткові експерименти на тваринах та клінічні випробування для встановлення зв'язку між споживанням функціонального масла та ризиком ожиріння, серцево-судинних і цереброваскулярних захворювань у людей та тварин. По-друге, попит споживачів на різноманітні функціональні харчові продукти постійно зростає у міру розвитку нових біоактивних інгредієнтів. Це означає, що функціональні компоненти, які можна додавати у виробництво масла, необхідно розширювати та оновлювати. Зокрема, з кожним роком збільшується використання різних функціональних рослинних екстрактів у харчових продуктах, таких як куркумін. Варто досліджувати вплив таких натуральних функціональних добавок на властивості та користь функціонального масла.

Функціональне масло має великий потенціал для покращення здоров'я людини та тварин завдяки включенню пробіотиків, антиоксидантів, біоактивних жирів і натуральних екстрактів. Проте наукові дослідження ще не повністю підтвердили його реальний вплив на організм, тому необхідні додаткові

експерименти на тваринах та клінічні випробування. Зростаючий попит на функціональні харчові продукти стимулює розширення спектру біоактивних інгредієнтів, таких як рослинні екстракти, для подальшого вдосконалення якості та користі функціонального масла. Розробка нових методів виробництва та комбінування інгредієнтів дозволяє створювати більш безпечні, корисні та стійкі до зберігання масляні продукти, що відкриває нові можливості для харчової промисловості.

Питання для самоконтролю

1. З яких основних компонентів складається масло вершкове?
2. На які види вершкове масло поділяють залежно від технологічних особливостей та органолептичних показників?
3. Що таке консистенція вершкового масла?
4. Як молочний жир впливає на якість вершкового масла?
5. Як швидкість та глибина охолодження впливають на утворення вершкового масла?
6. До яких наслідків приводить термостатування затверділого молочного жиру?
7. З якою метою проводять сколочування вершків у виробництві вершкового масла?
8. Що таке ліпіди та ліполіз і який їх вплив на якість вершкового масла?
9. З якою метою проводять культивування та темперування вершків у процесі виготовлення вершкового масла?
10. Навіщо в технології вершкового масла застосовують загартування та кристалізацію вершків?
11. Які остаточні операції і в якій послідовності запроваджено у виробництві вершкового масла, роль процесів збивання та засолювання?
12. Які особливі фізіологічні функції виконують жирні кислоти із середнім і коротким ланцюгом у вершковому маслі?
13. Яким чином може позначитись на харчуванні додавання риб'ячого жиру до коров'ячого масла?
14. Яку роль відіграє мікрокапсульована олія чіа у вершковому маслі?

15. З якою метою додають у вершкове масло лляну олію?
16. Чи здатна кон'югована лінолева кислота, додана до вершкового масла, впливати на зменшення у ньому холестерину?
17. Яким чином надлишкова кількість холестерину у вершковому маслі впливає на здоров'я людини?
18. У чому полягає роль наявності пробіотиків у вершковому маслі?
19. З якою метою здійснюють додавання екстракту зеленого чаю до вершкового масла?
20. Що означає поняття «масло, виготовлене на функціональному молоці»?

Рекомендована навчальна література

1. Власенко В.В., Головка М.П., Семко Т.В., Головка Т.М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
2. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
3. Грек О.В., Ющенко Н.М., Осьмак Т.Г. та ін. Практикум з технології молока та молочних продуктів : навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2015. 431 с.
4. Савченко О.А., Грек О.В., Красуля О.О. Актуальні питання технології молочно-білкових концентратів : теорія і практика : монографія. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компринт, 2015. 293 с.
5. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологічні розрахунки у молочній промисловості : навч. посібник. Київ : НУХТ, 2013. 343 с.
6. Теличкун В.І., Гавва О.М., Теличкун Ю.С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
7. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2013. 502 с.
8. Скарбовійчук О.М., Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А., Федоров В.Г. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник : навч. посібник. МОН України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 311 с.
9. Цехмістренко С.І., Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.
10. Власенко В.В., Семко Т.В., Шаблій Л.М., Лавицький В.П. Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 330 с. Режим доступу: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/11736.pdf>

Розділ 8. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СИРУ

8.1. Сири, їх склад і різноманіття технологій виготовлення та споживання

Сир має давню історію, і цей молочний продукт природного бродіння має низку характерних смаків. Мікроорганізми в різноманітних сирах є важливим компонентом і відіграють важливу роль як під час виробництва, так і під час дозрівання сиру. Однак сири з різних країн все ще виготовляються вручну, технології обробки різноманітні, структура мікробного співтовариства складна, а смак сиру сильно коливається. Таким чином, вивчення загальної технології обробки та взаємозв'язку між мікробною структурою та утворенням смаку в сирі є ключем до вирішення проблеми нестабільної якості та стандартизованого виробництва сирного аромату на основі збереження смаку сиру.

У цьому розділі розглядається хід досліджень щодо загальної технології обробки та ключових контрольних точок натурального сиру, біохімічних шляхів утворення смакових сполук у сирах, різноманітності та ролі дріжджів у сирі. У поєднанні з розвитком сучасної технології виявлення було проаналізовано еволюцію мікробної структури, еволюцію популяції та кореляцію смаку сиру з різних країн, що має велике значення для пошуку основних функціональних дріжджових мікроорганізмів і перспектив індустріалізації традиційного ферментованого сиру.

Сир – стародавній традиційний свіжий або кисломолочний продукт з багаторічною історією виробництва. Виробництво сиру з'явилося в різних країнах Західної Азії близько 8000 років тому; монголи, казахи та інші кочові жителі північно-західного Китаю традиційно виробляють цей продукт. Сир виготовляють шляхом згортання молока, вершків або частково знежиреної пахти з коров'ячого чи козячого молока або суміші цих продуктів з подальшим відділенням сироватки. Загалом, його готують шляхом додавання в молоко відповідної кількості закваски молочнокислих бактерій (LAB) разом із сичужним ферментом, під час бродіння якого перетворюються білки молока

(переважно казеїн), вуглеводи та жири. Далі видаляється сироватка, а продукт, що залишився, дозріває протягом певного часу. LAB не можна додавати для приготування деяких сирів.

Кисломолочні продукти з високою поживною цінністю вважаються «перлинами в короні молочної промисловості». З підвищенням якості життя харчові потреби людей змінювалися як кількісно, так і якісно. Крім того, вміст лактози в сирі низький, і тому його споживання дуже підходить людям з непереносимістю лактози. В даний час майже 130 країн і регіонів виробляють різні сири. Щорічно в світі виробляється десять мільйонів тон сиру, причому країни Європейського Союзу (наприклад, Нідерланди та Німеччина) є найбільшими експортерами сиру в усьому світі. З точки зору розвитку світової молочної промисловості, сир є дуже важливим молочним продуктом, але він ще не став самостійною галуззю, наприклад, в Китаї. Зараз виробництво сиру в країнах, що розвиваються, залишається на зародковому етапі, і більшість людей з цих країн не знайомі з сиром. Водночас молокопереробні підприємства стикаються з фінансовими та технологічними обмеженнями. Поки що жоден сир не отримав широкого визнання. Тому вивчення сиру є особливо актуальним. З розвитком молочної промисловості в різних країнах в останні роки в центрі уваги опинилася сирова промисловість.

У всьому світі бракує авторитетного процесу виготовлення сиру, який можна було б використовувати для виробництва сиру в будь-якій країні. Це пов'язано з відмінностями в регіонах, методах виробництва та доступній сировині.

У різних регіонах сир виготовляють по-різному. Наприклад, для виготовлення сиру чеддер на південному заході Англії сировину стерилізують і охолоджують; потім для бродіння сиру додають агент бродіння, хлорид кальцію та сичужний фермент. Через 30–40 хв згусток, що утворився, розрізають на шматочки розміром 5 мм, які відстоюють 15 хв і перемішують ще 5–10 хв. Потім згусток перевертають і складають, розламують, солять, формують і пресують. Пресований сир поміщають у ферментаційну камеру для бродіння та дозрівання.

Молоко для виробництва сиру Пармезан збирають у два окремі етапи: нічне молоко та свіже молоко, зібране наступного ранку, змішують у мідному сирному казані. Коли температура суміші досягає 52 °С, сир загортають у тканину, після чого нарізають, формують, пресують і занурюють у розсіл на 3 тижні. Під час процесу дозрівання випаровується приблизно 5 кг води.

З іншого боку, м'які та напівтверді сири, такі як сир фета, замочують у розсолі на короткий період. Для виготовлення казахського сиру процес збору молока подібний до сиру пармезан, з невеликими відмінностями: у мішок із козячої шкіри додається закваска, після чого відбувається ферментація молока. Далі цей ферментований продукт кип'ятять при помішуванні, щоб випарувалася вода. Сир, що залишився, поміщають у полотняний мішок, який потім підвішують на відкритому повітрі для подальшого видалення вологи та затвердіння сиру. Потім цей сир нарізають на дрібні шматочки або роблять у формі пирога і, нарешті, кладуть на бамбукову дошку на 30–90 днів для спонтанного дозрівання.

Прийнятність сиру для кінцевого споживача багато в чому залежить від конкретних сенсорних характеристик, включаючи смак і аромат. Унікальні характеристики та особлива якість сиру залежать від різноманітних сполук і молекул, які його утворюють, включаючи жирні кислоти, аміни, кетони, вільні амінокислоти, спирти, альдегіди, лактони та сполуки сірки. Тим не менш, присутність цих молекул забезпечується різними факторами виробництва сиру, включаючи клімат, регіональні умови, географічне положення, технологію, що використовується, пов'язану з сиром мікробіоту та умови дозрівання. Чотири шляхи, а саме гліколіз, утилізація цитрату, протеоліз і ліполіз, беруть участь у формуванні смаку сиру. Крім бактерій і цвілі в сирі, дослідження показали, що *Geotrichum candidum* має характеристики експресії, пов'язані з метаболізмом вуглеводів, ліпідів і амінокислот; тоді як *Debaromyces hansenii* бере участь у метаболізмі інших амінокислот. Дріжджі також дезамінують амінокислоти до відповідних кетокислот і NH_3 , підвищуючи рН сиру. Виробництво смакової суміші залежить від ферментів, що розкладають молоко, кожного штаму, що

ферментує, і від доповнення метаболічних шляхів між штамми; вироблені ароматичні сполуки можуть покращити якість смаку та різноманітність сиру. Таким чином, функціональна різноманітність, яка тісно пов'язана зі складністю мікробіоти сиру, має вирішальне значення для множинності смакових сполук, що утворюються під час дозрівання.

Традиційно ферментовані сири мають складні мікробні спільноти, багатощамову коферментацію, складні метаболічні механізми та різні смакові профілі. Тому мікроби відіграють ключову роль у формуванні смаку сиру. Поточна інформація має на меті забезпечити всебічний огляд динаміки мікробіоти сиру в різних процесах і технологіях виробництва сиру, а також зрозуміти основні біохімічні шляхи формування смаку сиру, з особливим акцентом на ролі дріжджів у сирі. Крім того, цей огляд висвітлює ключові досягнення у розумінні того, як різні технології виробництва сиру та різноманіття мікробних культур впливають на смак і якість кінцевого продукту.

8.2. Характеристика різних сирів

У світі існує понад 2000 різних сортів сиру, з яких більше 400 є найбільш відомими. Залежно від вмісту вологи способи зберігання і дозрівання сиру можуть сильно відрізнятися. Екстратверді сири, такі як Пармезан і Романо, виробляються з дуже твердої сирної маси. Ці сири мають низький вміст вологи, виробляються з частково знежиреного молока та повільно (протягом 1–2 років) дозрівають. Для твердих сирів, таких як чеддер і гауда, перед солінням і пресуванням згусток підкисляють, термін їх дозрівання становить 3–12 місяців, а для напівтвердих сирів – 2–3 місяці. Напівм'які сири (наприклад, лімбургер і блакитний сир) дозрівають за допомогою бактерій (*Brevibacterium*) або цвілі (*Penicillium*). Під час дозрівання цвіль у першу чергу росте на поверхні деяких сирів (наприклад, камамбер), або під поверхнею інших таких сирів (наприклад, блакитного сиру).

Молоко з високим вмістом бактерій може містити бактерії, що ферментують лактозу, що може перешкоджати підкисленню молока під час

виготовлення сиру. Виробник сиру не буде суворо контролювати швидкість і ступінь підкислення під час виготовлення сиру, що є одним із ключових компонентів успішного виробництва сиру. Пастеризація вбиває більшість бактерій, здатних ферментувати лактозу, тому іноді необхідно використовувати додану закваску для правильного бродіння. Пастеризація вбиває більшість ферментаторів лактози та дозволяє суворіше контролювати підкислення під час більш жорсткого процесу виготовлення сиру, у свою чергу полегшуючи контроль якості сиру. Тому для правильного бродіння додають закваску. Для певних сортів сиру, зокрема чеддер, пармезан і витриманої гауди, часто практикують додавання додаткових бактерій (переважно представників роду *Lactobacillus*) у молоко для формування унікальних характерних смакових відтінків. Такі добавки можуть включати штами бактерій, які пригнічують ріст небажаних мікроорганізмів у сирі та потенційно надають пробіотичні властивості.

Сири з пліснявою (наприклад, Камамбер) і м'які сири, з «митою скоринкою» (наприклад, Лімбургер) не забезпечують достатнього захисту від розвитку патогенів, оскільки вони не відповідають необхідним критеріям. Ці сири мають високу водну активність і втрачають свою кислотність під час дозрівання, що сприяє зростанню забруднень. Однорідність, твердість і форма сиру пов'язані з певними основними факторами, вирішальними для того, щоб сир мав відповідні умови дозрівання та розвивав ідеальні основні характеристики. М'якість пов'язана з вищим вмістом води, вищим вмістом жиру та сильнішою здатністю до розщеплення білка. Навпаки, тверді сири мають тверду форму. Сорт сиру, який можна одержати, визначається характеристиками незбираного молока, способом приготування сиру та мікроорганізмами в молоці чи сирі (пов'язаними із унікальним смаком і характеристиками, що виникають під час виробництва та дозрівання сиру). Типи мікробів, які беруть участь у виробництві або дозріванні сиру, визначаються інокульованими мікробами, умовами виробництва сиру та факторами навколишнього середовища.

8.3. Процеси бродіння сиру

Століттями молоко, яке використовується для виготовлення багатьох сортів сиру у світі, не проходило жодної попередньої обробки перед згортанням. Тобто сире молоко, особливо при виробництві крафтового сиру, традиційно використовується для виготовлення цих продуктів. Сири виготовляють шляхом перетворення рідкого молока в напівтверду масу за допомогою коагулюючого агента, наприклад сичужного ферменту, кислоти, тепла з кислотою або їх комбінації. Сири можуть сильно відрізнятися за своїми характеристиками, включаючи колір, аромат, консистенцію, смак і твердість, які, як правило, пов'язані з технологією їх виробництва, джерелом молока, вмістом вологи та тривалістю витримки на додаток до наявності певної цвілі, дріжджів та бактерій. Коли молоко перетворюється на сир, деякі компоненти молока зберігаються, тоді як інші перетворюються на унікальні компоненти сиру. Наприклад, мікробна ферментація, яку зазнає молоко під час його перетворення на сир, може моделювати склад сиру безпосередньо через синтез вітаміну В. Мікробна ферментація також опосередковано регулює склад сиру шляхом розчинення певних мінералів і лактатів, втрачених у сироватці після коагуляції молока. Крім того, склад сиру змінюється залежно від використовуваного процесу виготовлення сиру. Деякі з основних процесів виробництва натурального сиру є універсальними.

Зазвичай сир виробляють із коров'ячого молока, але деякі сири, такі як рокфор, фета та манчего, виробляються з овечого або козячого молока. Загалом, сире молоко слід використовувати для виробництва сиру якомога швидше після його зціджування. Проте вчасно доставити сире молоко на сироварню у віддалених районах часто буває важко. Крім того, на таких підприємствах може знадобитися зберігати зібране молоко протягом 1 дня перед його переробкою. Якщо період зберігання молока становить від 24 до 72 годин, кількість бактерій може збільшитися до 10^6 колонієутворюючих одиниць на мілілітр. Вміст жиру в сирому молоці визначається необхідною жирністю для виготовлення сиру, що, у

свою чергу, пропорційно залежить від концентрації казеїну в незбираному молоці. Для досягнення однорідної жирності та зменшення можливих коливань молоко стандартизують шляхом додавання вершків, видалення частини жиру або введення знежиреного молока чи сухих молочних речовин.

Для знищення шкідливих і хвороботворних бактерій, забезпечення однорідної якості та підвищення стабільності якості сиру для виробництва більшості сортів сиру використовується стерилізоване молоко. Стерилізацію проводять при 63°C протягом 30 хв або при 71–75°C протягом 15 с. Перед виробництвом сиру забруднюючі бактерії, головним чином *Lactobacillus spp.*, з навколишнього середовища можуть зброджувати лактозу; отже, перед додаванням заквасок молоко необхідно перевірити на наявність штамів мікробіоти, що продукують кислоти та смакові сполуки, щоб підтримувати стабільну швидкість утворення кислоти під час утворення згустку та забезпечити стабільність і якість сиру. На додаток до закваски можна додавати інші агенти залежно від того, чи цього вимагає сорт сиру та умови виробництва; наприклад, можна додати хлорид кальцію та барвники, щоб отримати сирну масу відповідної твердості та постійного кольору. Згусток можна розрізати лише після того, як він досягне відповідної твердості. Розрізання дозволяє перетворити великі згустки на менші, таким чином прискорюючи виділення сироватки. Це також збільшує площу поверхні згустку, дозволяючи йому зменшитися після зневоднення. Зі збільшенням міцності згустку його водоутримувальна здатність знижується. Усадка згустку та виділення сироватки призводять до того, що згусток втрачає більше води та стає твердішим. Як правило, видалення сироватки проводять в обсязі, що дорівнює 35–50% об'єму молока. Чим вище температура під час процесу виділення сироватки, тим вищий вміст вологи в згустку. Це пояснюється тим, що частинки згустку швидко деформуються при високій температурі; в результаті отвори в частинках сиру швидко закриваються, запобігаючи виділенню вологи. Додавання відповідного вмісту солі під час процесу виготовлення сиру може забезпечити належну кислотність сиру, покращити його текстуру та смак, контролювати кількість отворів, регулювати

вологість та пригнічувати патогенні мікроорганізми. Що стосується дозрівання та зберігання, то свіжі сири, такі як домашній сир і вершковий сир, не потребують дозрівання, тоді як тверді сири, такі як чеддер і швейцарський, потребують. Зрілі сири, як правило, виготовляють із сичужним ферментом. Під час дозрівання у свіжому згустку розвиваються унікальні аромати завдяки пробіотичній та ферментній дії, інтенсивність якої залежить від типу сиру.

Для дозрівання надтвердих і твердих сирів, таких як пармезан і чеддер, згусток зберігають у умовах, що стримують розвиток поверхневих мікроорганізмів. Це обмежує мікробну та ферментативну активність у сирі. Наприклад, сир чеддер традиційно дозріває у спеціальних печерах.

Для дозрівання всіх м'яких і деяких напівм'яких сирів, таких як Лімбургер і Брі, сир зберігають у умовах, що сприяють росту поверхневих мікроорганізмів. Наприклад, *Penicillium camemberti* бере участь у дозріванні сирів на кшталт Камамбера і Брі, тоді як *Brevibacterium linens* сприяє дозріванню плямистих зрілих сирів, таких як Лімбургер. Цікаво, що блакитні сири, як-от Стілтон і Рокфор, дозрівають обома способами. Водночас деякі традиційні ручні сири, включно з гаудою та плейсентифом, не мають строго стандартизованого процесу виробництва і значно відрізняються залежно від традиційних методів конкретних виробників.

8.4. Розвиток технологій промислової переробки молока та її переваги

На відміну від цього, основними напрямками розвитку технології виробництва сиру є економічні аспекти, обладнання та технології, потреби споживачів і нормативні стандарти. Крім того, ключовим завданням є забезпечення стабільного виробництва високоякісного сиру при збереженні високої продуктивності. Впровадження аналітичних технологій процесу для безперервного моніторингу та контролю відповідних параметрів обробки молока дозволяє мінімізувати випуск низькоякісного продукту та підвищити продуктивність і рентабельність виробництва.

Альтернативні методи зниження бактеріального навантаження включають застосування спеціально спроектованих центрифуг або мікрофільтрації. Для видалення бактерій та бактеріальних спор із молока можна використовувати обробку перекисом водню чи каталазою, а також бактофугування – високошвидкісну центрифугу. Нещодавно для регулювання вмісту білка в молоці застосовують технологію ультрафільтрації, що дозволяє досягти бажаного кінцевого складу. Серед переваг цієї технології — однорідніший вихідний матеріал, ефективне використання потоку лактози та підвищена пропускна здатність сухих речовин молока через сирну ванну. Вибір обладнання для кубової стадії виробництва сиру залежить від багатьох зовнішніх факторів, включаючи тип сиру, що виготовляється, подальшу обробку, гнучкість, вартість і пропускну здатність – і це лише частина факторів, які слід враховувати.

В останні роки нові біотехнології для сприяння дозріванню сиру та покращення смаку часто досліджувалися, включаючи інокуляцію додаткових культур та екзогенних ферментів, а також вплив температури та високого тиску на якість сиру. Інструментальні методи та сенсорні панелі можуть бути дорогими та потребували кваліфікованого персоналу, що гарантує інноваційні системи швидкого виявлення для моніторингу дозрівання та оцінки якості сиру, такі як інфрачервона спектроскопія, електронний ніс та оптичні методи.

Щоб збільшити сприйняття плавлених сирних продуктів споживачами, виробники часто шукають нові шляхи підвищення їх функціональності. Основними методами збагачення сиру є включення пробіотиків і пребіотиків, підвищення вітамінів і збагачення іншими макроелементами.

Розвиток молочних технологій дозволив стандартизувати технологію промислового виробництва деяких сирів, тоді як інші сири все ще готують традиційними нестандартизованими методами. Наприклад, технології ультрафільтрації та концентрації більше підходять для виробництва фети, а ось казахський сир виробляється за традиційними нестандартизованими ручними технологіями. Крім того, використання їстівних плівок і покриттів при збереженні сиру наразі є перспективним напрямком досліджень.

8.5. Смак сиру: походження та виробництво

Сир є продуктом біохімічних перетворень, що відбувається під час його виробництва та дозрівання. Кожен сир має свій унікальний смаковий склад. Виробництво сирного аромату в основному включає три основні реакції: метаболізм залишкової лактози, лактату та цитрату; протеоліз; ліполіз. Ферменти, які беруть участь у виробництві та дозріванні сиру, в основному отримують з молока, закваски, сичужного ферменту та вторинної мікробіоти. Різні зміни в нестартерних LAB (NSLAB) і вторинних або допоміжних культурах також відбуваються залежно від типу сиру та методів обробки. Харчові смакові речовини в основному леткі і нелеткі. Леткі смакові компоненти, такі як спирти, кислоти, складні ефіри, альдегіди та кетони, є основними носіями харчового аромату. Натомість нелеткі смакові речовини, до яких належать органічні кислоти, амінокислоти, відновлювальні цукри, нуклеотиди, поліпептиди та інші дрібні молекули, головним чином визначають смак продукту.

Смакові речовини сиру включають кислоти, спирти, складні ефіри, кетони та лактони – на їх утворення впливають якість сирого молока та процеси бродіння або дозрівання. Зокрема, дозрівання є найважливішим фактором, що впливає на смак сиру. Процес дозрівання сиру включає дуже складні біохімічні реакції, які включають первинний і вторинний метаболізм. Основний смак сиру визначається первинним метаболізмом і в основному містить три етапи: розпад вуглеводів, гідроліз білка та розпад жиру. Вторинний метаболізм відповідає за формування специфічного смаку відповідного сорту сиру. В основному він включає декарбоксилювання амінокислот, трансамінування, дезамінування, десульфатування, бета-окислення жирних кислот та естерифікацію. Дріжджі можуть ефективно виробляти багато вторинних метаболітів, важливих для якості сиру, включаючи карбонільні сполуки, сполуки сірки, похідні жирних кислот, фенольні сполуки та вищі спирти, які безпосередньо пов'язані з ароматом сиру.

Також реалізується залишковий метаболізм лактози, лактату та цитрату. Лактоза та цитрат є основними вуглеводами в молоці всіх ссавців, але вміст лактози сильно варіюється від ссавця до ссавця (діапазон 0–100 г/л). Основними

продуктами метаболізму лактози є L-лактат, DL-лактат або рацемічна суміш обох, що має важливе значення для створення смаку в усіх сирах. Однак деякі бактерії, включаючи *Leuconostoc* spp. також виробляють інші продукти, такі як етанол. Нестартерна мікробіота сирів чеддер, голландського типу та подібних сирів ізомеризує L-лактат, що виробляється закваскою *Lactococcus lactis*, у DL-лактат. Однак висока концентрація DL-лактату може вплинути на сенсорну якість сиру. Деякі бактерії-закваски (наприклад, *Streptococcus thermophilus*), що ростуть із галактозопозитивними мікроорганізмами, не можуть метаболізувати галактозну частину лактози, що призводить до накопичення галактози в сирі. Піруват – проміжний продукт метаболізму лактози – є попередником для виробництва кількох коротколанцюгових ароматичних сполук, включаючи ацетат, ацетоїн, діацетил, етанол і ацетальдегід. У швейцарському сирі лактат перетворюється на пропіонати, ацетати, вуглекислий газ і воду, при цьому саме вуглекислий газ відповідає за утворення характерних «очків» у сирі. Ацетат є важливою смаковою речовиною багатьох сирів. На додаток до метаболізму з лактози LAB, ацетат також може утворюватися через метаболізм лактату та цитрату.

У зрілих сирах, таких як камамбер і брі, лактат у поверхневому шарі метаболізується та розкладається на воду та кисень пліснявою та дріжджами на поверхні, спричиняючи підвищення їх рН. Це схоже на зміни, що відбуваються в голландському та швейцарському сирі, але не в чеддері. Концентрація лактози в сирі може знизитися в результаті промивання або заміни сироваткою; в цьому випадку залишкова лактоза в згустку швидко метаболізується зі збільшенням значення рН. Отже, сири з низьким вмістом лактози мають свіжий і м'який смак; тоді як продукти з високим вмістом лактози можуть мати сильний і гострий смак через низьке значення рН.

У молоці цитрат в основному існує у формі іонізованих солей у концентраціях $\leq 1,8$ г/л, більша частина яких втрачається в сироватці під час виробництва сиру. Це пояснюється тим, що майже 94% цитрату знаходиться в розчинній фазі молока. Цитрат метаболізується не *S. thermophilus* або

термофільними лактобактеріями, а певними мезофільними лактобактеріями мікробіоти NSLAB. Цитрат не метаболізується *S. Thermophilus* або термофільними лактобактеріями, але метаболізується певними мезофільними лактобактеріями мікробіоти NSLAB. Ряд важливих ароматичних сполук, таких як ацетат, діацетил, ацетоїн, бутандіол і вуглекислий газ, виробляються з цитрату, якщо стимулюється цитрат-позитивний лактат (наприклад, *L. lactis* і *Leuconostoc*). Діацетил є ключовою ароматичною сполукою, яка в деяких видах сиру, таких як голландські сири, кварк та інші сири, перетворюється на ацетоїн, 2,3-бутандіол і 2-бутанон. Метаболізм цитратів має особливе значення в сирах голландського типу, де вироблений CO₂ відповідає за формування «очків» сиру. Крім того, цитрат є основним субстратом для заквасок Cit⁺ і NSLAB, а залишковий цитрат, що метаболізується NSLAB, також може призвести до в'ялості тканин у деяких сирах, таких як чеддер.

8.6. Ліполіз і метаболізм жирних кислот

Ліполіз відіграє важливу роль у формуванні смаку та текстури сиру. Ліпази в сирі надходять із різних джерел: молока, сичужного ферменту, закваски, допоміжної закваски, незакваскових бактерій та екзогенних ферментів. Серед усіх ліпаз особливе значення для смаку сиру з сирого молока має ліпопротейнова ліпаза, тоді як у сирах із пастеризованого молока її вплив на смак мінімальний. Ліполітичні ферменти, присутні у молочнокислих бактеріях (LAB), здатні гідролізувати субстрат із утворенням вільних жирних кислот, триацилгліцеридів, діацилгліцеридів та моноацилгліцеридів. LAB-естераза активна переважно щодо <C18 моноацилгліцеридів, з особливо високою чутливістю до C8 моноацилгліцеридів, проте вона не впливає на >C6 діацилгліцериди. Крім того, етилмасляна кислота утворюється шляхом перенесення бутільного залишку з тригліцеридів на етанол через трансферазу в клітинах LAB. Здатність *Propionibacterium* (PAB) розкладати жир перевищує здатність LAB у 10–100 разів. У швейцарському сирі PAB відіграє ключову роль у перетворенні лактату

в ацетат, створенні характерного смаку за допомогою вуглекислого газу та утворенні вільних жирних кислот.

Утворення типового смаку сиру через ліполіз в основному відображається в наступному: складноєфірні зв'язки між тригліцеридами та жирними кислотами розриваються під дією ліпази та утворюються моногліцериди, дигліцериди та вільні жирні кислоти. Жирні кислоти мають важливий вплив на смак сиру. Під час бродіння та дозрівання сиру після розкладання молочного жиру утворюється ряд жирних кислот із середніми та короткими вуглецевими ланцюгами ($C > 4$). Це призводить до утворення в сирі характерних смакових речовин, а ці речовини є важливими показниками, що визначають зрілість сиру. Окислення жирних кислот, особливо поліненасичених жирних кислот, може утворювати різні ненасичені альдегіди з інтенсивним смаком. Це може призвести до появи неприємного запаху, пов'язаного з прогірклістю; що спостерігається в гауді, чеддері та швейцарському сирі після того, як вони зіпсуються. Тим не менш, ліполіз має позитивний ефект у більшості сирів, включаючи такі як пармезан, емменталь, блакитні сири та італійський сир.

Жирні кислоти, що утворюються в результаті ліполізу, особливо вільні жирні кислоти, такі як оцтова, октанова та деканова кислоти, є речовинами, що сприяють смаку сиру. Крім того, унікальна текстура і твердість сирів є результатом постійного випаровування води. З утворених вільних жирних кислот саме оцтова кислота надає сиру різкий смак, але занадто велика кількість оцтової кислоти може надати сиру запах, схожий на оцет. Смак, створюваний жирними кислотами, змінюється відповідно до відмінностей у типах жирних кислот і їх вмісту в певних типах сиру. Масляна кислота є важливою смаковою сполукою в таких сирах, як романо та твердий сир, тоді як основним характерним смаком швейцарського сиру є пропіонова кислота, вироблена PAB. Крім того, гексанова кислота відповідає за пітливий, гострий і зігрітий смак; октанова кислота надає козячого, воскового смаку; а деканова кислота створює жирний цитрусовий запах.

Коротколанцюгові жирні кислоти забезпечують сильний характерний смак, деякі з яких є попередниками смаку та перетворюються на інші ароматичні речовини, включаючи лактони та спирти. Основними лактонами в сирі є γ - і δ -лактони, які мають п'яти- і шестигранні кільця відповідно і надають інтенсивний аромат. Складні ефіри в сирі утворюються в результаті реакції етерифікації між жирними кислотами з коротким ланцюгом і жирними кислотами із середньою довгою ланцюгом, що утворюється в результаті розкладання молочного жиру та первинних і вторинних спиртів, які утворюються в результаті ферментації лактози або метаболізму амінокислот під час бродіння. Естери в сирі синтезуються в результаті реакції етерифікації між жирними кислотами з коротким ланцюгом і жирними кислотами із середнім і довгим ланцюгом, що утворюються під час розкладання молочного жиру. Крім того, первинні та вторинні спирти виробляються шляхом бродіння лактози або метаболізму амінокислот під час бродіння. Складноефірні сполуки в сирі відіграють важливу роль у формуванні солодких, фруктових і квіткових ароматів. Однак надмірна кількість етилбутирату та етилкапроату призводить до яскраво вираженого фруктового смаку. Крім того, тіоефіри (тобто s-метилтіоацетат, тіоетил-2-метилпропаноат і s-метилтіобутират), отримані в результаті реакції вільних жирних кислот із сульфгідрильними групами, надають часниковий, сірчаний або яєчний смак. Нарешті, β -окислення та подальше декарбоксилювання вільних жирних кислот у деяких сирах (наприклад, блакитний сир) призводять до утворення метилкетонів або алкан-2-онів, особливо гептанону та нонанону.

8.7. Протеоліз і метаболізм амінокислот

Гідроліз білка, основна біохімічна реакція, має вирішальне значення для формування смаку сиру та має важливий вплив на вивільнення смаку та аромату сиру під час процесу його дозрівання. Пептиди та вільні амінокислоти, які розщеплюються з білка протеазою в сирі, є попередниками багатьох сирних смакових речовин сиру. Молочні білки в основному включають казеїни (α -, β - і

к-казеїн), які втрачаються в сироватці, оскільки вони не повністю розкладаються. Гідроліз казеїну є найважливішим біохімічним шляхом формування смаку в твердих і напівтвердих сирах. Протеїнази та пептидази каталізують розщеплення поліпептидних ланцюгів для отримання вільних амінокислот, деякі з яких діють як попередники ароматичних сполук під час виробництва та дозрівання сиру.

Вміст вільних амінокислот і їх подальший метаболізм у зрілому сирі відіграють ключову роль у формуванні його смаку. Під дією ферментів мікроорганізмів – трансаміназ, дезаміназ, декарбоксилаз та інших – вільні амінокислоти перетворюються на широкий спектр летких і нелетких сполук смаку та аромату (зокрема кетони, альдегіди, органічні кислоти, спирти та сірковмісні сполуки). Ці перетворення відбуваються шляхом реакцій трансамінування, дезамінування, декарбоксилювання та відновлення.

Концентрації метіоніну, лейцину та глютамінової кислоти часто використовують як показники ступеня протеолізу в сирі. Катаболізм амінокислот із розгалуженим ланцюгом (лейцин, ізолейцин, валін) призводить до утворення сполук, таких як 3-метилбутанол і 3-метилбутаналь, що надають сиру солодово-фруктових та горіхових нот. Метіонін є попередником сірковмісних ароматичних сполук (метантіол, диметилсульфід, диметилдисульфід), які формують характерні ноти вареної капусти, цибулі або печеної картоплі. Ароматичні амінокислоти (фенілаланін, тирозин, триптофан) беруть участь в утворенні ароматичних альдегідів і спиртів із квітковими та медовими відтінками.

Відомо, що вміст вільних амінокислот, особливо глютамінової кислоти та лізину, значно вищий у сирах тривалого дозрівання, таких як пармезан, порівняно з гаудою, чеддером чи ементалем, що обумовлює їх виражений умами-смак. Стартерні молочнокислі бактерії (SLAB), нестартова мікрофлора (NSLAB) та інші мікроорганізми продукують специфічні ферменти, які забезпечують метаболізм амінокислот, особливо розгалужених, ароматичних і сірковмісних, що суттєво впливає на формування характерного профілю смаку кожного виду сиру.

Амінокислоти з розгалуженим ланцюгом – попередники ароматичних сполук, таких як ізобутиловий ефір, 3-метилбутаналь і 2-метилбутаналь – містяться в різних сирах. Крім того, ізолейцин, лейцин і валін можуть бути декарбоксильовані в ізобутиловий ефір, 2-метилацетальдегід і кетоізокапроат, усі вони мають сильний неприємний аромат. Катаболізм ароматичних амінокислот починається зі стадії трансамінування, на якій індолпіруват, фенілпіруват і п-гідроксифенілпіруват утворюються з триптофану, фенілаланіну та тирозину відповідно. Перетворення триптофану або фенілаланіну в багатьох твердих і м'яких сирах призводить до утворення бензальдегіду, який характеризується гірким мигдальним смаком. Амінокислоти також дезамінуються та декарбоксилуються з утворенням таких сполук, як α -кетокислоти, аміак та аміни, які далі перетворюються на такі сполуки, як спирти, складні ефіри та кислоти. Аміак також є важливою смаковою речовиною в багатьох сирах, таких як камамбер і грюйер.

У сири метіонін перетворюється на летючі сполуки сірки, такі як метанетіол (який має прогірклий смак), а також диметилсульфід і диметилтрисульфід (які мають часниковий смак); вони представляють основні смакові речовини в багатьох сортах сиру. S-сполуки є основними джерелами характерного аромату чеддера; вони також сприяють часниковому запаху добре дозрілого камамбера. Окрім утворення смакової речовини, протеоліз із подальшим окисним декарбоксилюванням амінокислот може виробляти низькомолекулярні біогенні аміни, надмірна кількість яких може спричинити несприятливі фізіологічні реакції. Тому виявлення біогенних амінів є необхідною частиною аналізу безпеки сиру.

8.8. Прогрес у дослідженні технології виявлення смаку сиру

Різноманітні сири мають різноманітні аромати та складні структури, аналіз яких в основному базується на екстракції летючих компонентів. В даний час основні методи екстракції включають дистиляцію, екстракцію розчинником, метод захоплення вільного простору (HS) і твердофазну мікроекстракцію

(SPME). Дистиляція є відносно простим методом екстракції; однак вона потребує часу та праці. Метод екстракції розчинником вимагає відносно великої кількості розчинника. HS відносно швидкий і простий в експлуатації, але концентрація летючих речовин у вільному просторі може бути низькою, що може обмежити результати. SPME – це швидка та ефективна технологія збагачення смакоароматичних матеріалів зразків, яка демонструє ефективний відбір проб, розділення, концентрацію та збагачення ароматичних речовин. SPME часто використовується в поєднанні з такими методами, як газова хроматографія та мас-спектрометрія для виявлення летких смакових компонентів у їжі.

Газова хромато-мас-спектрометрія (ГХ-МС) відіграє ключову роль в аналізі смако-ароматичних речовин харчових продуктів і широко застосовується для визначення летких та напівлетких сполук. Ця технологія має значні аналітичні переваги – високу чутливість, селективність і можливість ідентифікації складних сумішей сполук. Нині метод HS-SPME (headspace solid-phase microextraction) у поєднанні з ГХ-МС широко використовують для аналізу ароматичних компонентів сиру, білого та рисового вина, чаю пуер і пива. Зокрема, метод SPME-GC-MS застосовували для дослідження летких сполук на чотирьох різних стадіях дозрівання м'якого іспанського козячого сиру. Загалом було ідентифіковано 46 летких ароматичних сполук, серед яких 13 кислот, 9 складних ефірів, 4 кетони, 7 спиртів, 3 альдегіди та 7 ароматичних сполук. ГХ-МС також використовували для аналізу летких компонентів зрілого овечого сиру Fiore Sardo PDO (Італія). Було встановлено, що основну частку летких сполук становили карбонові кислоти (68%), тоді як складні ефіри (14%), кетони (9%) та спирти (8%) також суттєво формували ароматичний профіль. Крім того, газову хроматографію застосовували для дослідження летких компонентів у процесі дозрівання сиру Реджаніто за різних комбінацій температури та тривалості визрівання. У результаті було ідентифіковано 41 летку сполуку, зокрема кислоти, кетони, альдегіди, складні ефіри, спирти та вуглеводні.

На сьогодні ідентифіковано понад 600 летких сполук у харчових продуктах, однак лише частина з них суттєво впливає на аромат і смак. Газова

хромато-мас-спектрометрія (ГХ-МС) дозволяє аналізувати широкий спектр летких компонентів, проте не визначає, які з них є ключовими для формування аромату. Для цього ефективно застосовується газова хроматографічна ольфактометрія (GC-O), яка поєднує інструментальний аналіз із сенсорним сприйняттям. Основні підходи GC-O включають метод «час–інтенсивність», ароматичний профільний аналіз та аналіз розведення екстракту аромату (AEDA). Комбінація екстракції розчинником, SPME та GC-O дозволяє ідентифікувати ключові ароматичні сполуки зрілих сирів, зокрема метилмеркаптан, 2(3)-метилмасляну кислоту, 2,3-бутандіон, диметилсульфід, масляну та оцтову кислоти, 1-октен-3-ол, фенілацетальдегід і піразини, які формують характерний аромат сирів.

8.9. Критичні контрольні точки сиру

Екстратверді сири характеризуються дуже низьким вмістом вологи та відносно високою часткою сухих речовин. Їх виробництво передбачає використання частково знежиреного молока, термофільних заквасочних культур, високих температур обробки сирного зерна, тривалого соління в розсолі та довготривалого дозрівання. Для виготовлення Парміджано-Реджано молоко збирають у два прийоми. Вечірнє молоко відстоюють, щоб частково зняти жир, а вранці змішують його зі свіжим незбираним молоком. Суміш переробляють у мідних сироробних ваннах із використанням природної сироваткової закваски. Після утворення згустку сирне зерно нагрівають приблизно до 52–55 °С. Частину сироватки з попереднього виробництва використовують як закваску наступного дня — це є традиційним елементом технології та важливою вимогою для продукту з захищеним походженням. Далі сир формують, пресують, солять у розсолі та витримують тривалий час. Сир Чеддер виробляють переважно з коров'ячого молока із застосуванням мезофільних молочнокислих бактерій (переважно *Lactococcus lactis*). Технологія включає коагуляцію молока, різання згустку, нагрівання, видалення сироватки та характерний процес чеддеризації — багаторазове перевертання, складання шарів згустку та його подрібнення. Після

цього додають суху сіль і сир пресують. Підвищена кислотність під час дозрівання пригнічує розвиток небажаної мікрофлори, зокрема маслянокислих бактерій, тому застосування нітратів зазвичай не потрібне.

Вуглекислий газ, який виробляють пропіоновокислі бактерії (PAB), призводить до утворення дірок (або «очей») у твердих сирах, таких як швейцарський і емменталь. Для цих сирів важливо отримати еластичну сирну масу. Дозрівання швейцарського сиру включає повільний розпад білків і ліпідів у згустку, що формує смакові сполуки та сприяє зростанню PAB, який ферментує лактати. Сировина та закваски для емменталю відрізняються від інших сирів: свіже молоко надходить від корів, яких годують лише травною або сіном, без додаткових кормів чи добавок, а закваска містить термофільні *Lactobacillus* і *Propionibacterium*. Основні обмеження при використанні цієї сировини включають утворення тріщин, недостатню кількість дірок, поява рожевих плям та слабкий смак.

Напівтверді сири характеризуються широким діапазоном смакових профілів і текстур завдяки різноманіттю використовуваних LAB та їхній активності. У сирах Caerphilly та Lancashire ріст бактерій під час формування згустків при низькій кислотності (pH 5,0–5,2) призводить до утворення кислих згустків, що робить сир розсипчастим. У сирах Едам і Гауда частина сироватки видаляється під час змішування та замінюється водою, щоб обмежити утворення кислоти. Це знижує вміст лактози, підвищує pH і забезпечує тверду, але еластичну структуру. Гауда виготовляється з пастеризованого цільного молока, а Едам – з пастеризованої або частково пастеризованої пахти. Під час виробництва Гауди видалення сироватки та промивання проводяться одночасно: частина сироватки замінюється гарячою водою для очищення сиру. Вміст вологи та кінцевий pH контролюються шляхом вимивання лактози, а додаткове пресування Гауди сприяє утворенню щільної скоринки.

Лімбургер називають «смердючим сиром» через його сильний аромат, який в основному походить від шкірки, а не від самого сиру. Лімбургер спочатку зберігається протягом 2 тижнів при вищій температурі та вологості, а потім

дозріває 2–3 місяці в умовах охолодження. За цей час його кілька разів вимочують в розсолі, щоб стимулювати ріст бактерій і утворення світло-коричневої скоринки і неповторного смаку. Для зберігання Limburger загортають в упаковку з дихаючого матеріалу, такого як алюмінієва фольга або папір, щоб сир залишався зрілим.

Блакитні сири, такі як рокфор і датський блакитний сир, виготовляють із напівм'якої сирної маси з високим вмістом кислоти, що забезпечує повільне утворення кислоти протягом тривалого періоду видалення сироватки. Згустки не піддають нагріванню, а сир не пресують механічно, на відміну від сирів типу *pasta filata*. Типовий процес включає проколювання сиру для аерації, що сприяє росту *Penicillium roqueforti*, який формує характерні сині прожилки. Камамбер – м'який зрілий сир із поверхневою пліснявою, виготовляється зі свіжого молока нормандських корів. Після формування сиру його поверхню посипають сухою сіллю та інокують *Penicillium albicans*. Моцарела – напівтвердий свіжий сир сімейства *pasta filata*. Його унікальна технологія обробки включає гаряче розтягування, що надає сиру характерну еластичну текстуру. Цей сир потребує швидкого утворення кислоти, але занадто висока кислотність може погіршити якість продукту. Сири високої жирності, такі як кислі сирки, традиційно виробляють шляхом підвішування згустків у мішках для відділення сироватки, подібно до казахських методів. Фета виготовляється з овечого або козиного молока з високим вмістом коротколанцюгових жирних кислот, що надає їй характерний кислий смак. Однак природна ліпаза цього молока руйнується під час термічної обробки, і її додавання на наступних етапах забезпечує формування унікального смаку, властивого коротколанцюговим жирним кислотам.

8.10. Різноманітність дріжджів у сирі та їх вплив на смак

Традиційні ферментовані продукти, включаючи китайський лікер, сир, оцет і хліб, збагачуються різними мікроорганізмами у відкритому середовищі. Отже, спільний метаболізм багатьох мікробіот лежить в основі бродіння, яке

відбувається в цих харчових продуктах. Крім того, структура мікробної спільноти та смак цих продуктів тісно пов'язані. Таким чином, мікробна спільнота, яка мешкає в сири, має сильну екологічну адаптивність і різноманітність. Мікробні спільноти в традиційних ферментованих харчових продуктах також відіграють важливу роль у збереженні їжі та формуванні смаку. Високопродуктивна метагеноміка може виявити різноманітність і послідовність мікробного співтовариства на поверхні сиру – це харчова екосистема з відносно простою мікробіотою. Крім того, метагеноміка, макротранскриптоміка та протеоміка можуть бути об'єднані, щоб значно полегшити видобуток метаболічних функцій мікробних спільнот у традиційному ферментованому сири. Поєднання чистих культивованих і некультивованих методів (метагеномні методи) для дослідження мікробних спільнот значно покращило розуміння мікробіоти традиційного ферментованого сиру. Проте мало досліджень зосереджено на штаммах дріжджів у сири, хоча різноманітна дріжджова мікробіота, що населяє сир, відіграє значну роль у контролі якості продукту.

Екосистема сиру – це особливе середовище, яке підтримує співіснування дріжджів, бактерій і нитчастих грибів. Початкові домінуючі дріжджі стійкі до кислоти та солі; вони метаболізують лактат, що виробляється SLAB, і можуть утворювати NH_3 з амінокислот. Дріжджі походять не лише з молока, а й із середовища обробки та умов зберігання, осідаючи на поверхні сиру і формуючи складну біоплівку разом з іншими мікроорганізмами. Це явище характерне для традиційних зрілих сирів. З поверхні та серцевини французьких кустарних сирів зазвичай виділяють *Yarrowia lipolytica*, *D. hansenii*, *Kluyveromyces lactis* і *K. marxianus*. Дослідження 137 сирів із 10 країн показало, що на поверхні сиру часто зустрічаються 24 культивовані бактерії та гриби, виявлені за допомогою метагеномного секвенування та ізоляції штамів. Комерційні дріжджові культури, такі як *G. candidum*, використовуються у виробництві сиру протягом багатьох років. Додавання високоактивних дріжджів (*D. hansenii*, *Candida krusei*) у німецькі сири Harzer та quark сприяє дозріванню. Більшість дріжджів у сири є суто анаеробними, наприклад *K. marxianus*, який метаболізує залишкову лактозу.

Дослідження різноманітності 44 типів сирних грибів показало, що *D. hansenii* є найпоширенішими дріжджами, а *Penicillium* spp. (особливо в блакитному сирі, наприклад рокфорі) – найпоширенішою цвілью. Більшість грибів виділено з молочних продуктів, проте потенційні проблеми безпеки, такі як *Aspergillus flavus*, потребують уваги. У традиційному турецькому бродінні сиру ідентифіковано 19 нитчастих грибів і 5 штамів дріжджів, зокрема *Penicillium* spp. та *D. hansenii*. В сирі PDO Ragusano виявлено *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus* та деякі дріжджі, що відіграють важливу роль у формуванні смаку. Щодо інших сирів: словацький сир містить переважно *Hansenula debali*, *Y. lipolytica* і *G. candidum*; сир Livarot – *Y. lipolytica*, *Candida* spp., *C. intermedia* та *Geotrichum* (за даними флуоресцентної гібридизації *in situ*). У казахському сирі домінують *Pichia kudriavzevii*, за ними – *K. marxianus* і *K. lactis*. З камамбера та брі виділено широкий спектр дріжджів, найбільш поширені – *D. hansenii* та *Y. lipolytica*. Метаболічні кінцеві продукти бродіння лактози та галактози дріжджами з сиру моцарелла водяного буйвола показують значну варіабельність залежно від виду. Загалом, *K. marxianus*, *K. lactis* та їх анаморфні форми (*D. hansenii*, *Saccharomyces cerevisiae*) є найпоширенішими дріжджами в сирі, проте їхня роль у дозріванні повністю не оцінена.

8.11. Вплив дріжджів на якість сиру під час бродіння.

Традиційні ферментовані сири демонструють складні мікробні спільноти, багатовидову коферментацію, складний метаболічний механізм і різноманітні смаки. Ароматизатори сиру утворюються в основному через розкладання лактози та казеїну, а також через ліпідний обмін. Під час дозрівання сиру більшість смакових речовин утворюється в результаті гідролізу білка та перетворення амінокислот. Крім того, утворення смакових речовин невіддільне від метаболізму мікробіоти та перетворення речовин під час бродіння. Певна кількість ЛАВ зазвичай присутня в свіжому молоці та незрілому сирі, а деякі з ЛАВ мають більш активні ферменти, що перетворюють амінокислоти; це збільшує смакову різноманітність і насиченість сиру. *Penicillium brevicompactum*,

Penicillium cavernicola та *Penicillium olsonii* мають вищу активність протеази в крафтовому сирі з козячого молока, де Мусог виробляє більше ліпази. Крім того, *Y. lipolytica* має найкращу протеазну та ліпазну активність. Крім LAB і плісняви, різні дріжджі беруть участь у гідролізі білка, розпаді ліпідів і лактози, а також в асиміляції лактату і цитрату під час дозрівання сиру – усі вони важливі для формування смаку сиру. Крім того, *Metschnikovia reukaufii*, *Y. lipolytica* та *Pi. kudriavzevii* впливають на вивільнення протеаз, що є життєво важливим для утворення вільних амінокислот з білків.

Традиційні ферментовані сири мають стабільну основну мікробіоту; однак види дріжджів, присутні в цій мікробіоті, потребують подальшого аналізу на основі їх метаморфічного геному та метаболоміки. За рахунок впливу мікробної взаємодії навколишнього середовища та виробничих процесів на мікробне співтовариство сиру продемонстровано, що мікроби (поширені на поверхні сиру) мають високу здатність відтворюватися, що робить сир простою у використанні моделлю мікроекосистеми, яку можна створити. У центрі уваги відповідних досліджень, що тривають, є наступне:

- 1) метод ефективного контролю стадії дозрівання сиру для забезпечення смаку та якості готового сиру;
- 2) ідентифікація основної мікробіоти, включаючи різні залучені види дріжджів та їх взаємодію під час виробництва та дозрівання сиру;
- 3) дослідження кореляції між вищезазначеними взаємодіями або динамічними змінами та змінами смаку під час виробництва та дозрівання сиру;
- 4) метод аналізу внутрішнього зв'язку між екологічними та функціональними характеристиками мікробної спільноти сиру.

Дріжджі відіграють важливу роль у виробництві майже всіх традиційних дозрілих сирів, особливо деяких, таких як Грюйер, Тільзіт і Реблшон. Деякі ферментаційні дріжджі можуть рости всередині кислих сирів, наприклад німецький Harzer; вони виробляють етанол і вуглекислий газ на ранній стадії виробництва. Однак дріжджі також можуть бути причиною деяких серйозних дефектів сиру, що спричиняє раннє здуття, неприємний присмак, коричневе

забарвлення та інші видимі зміни. Дріжджі можуть знекислити поверхню сиру, спричиняючи утворення градієнта рН між поверхнею та центром сиру з подальшою дифузією лактату назовні. Коли лактат виснажується, дріжджі розщеплюють амінокислоти з утворенням NH_3 , який дифундує всередину та додатково підвищує значення рН. Процес знекислення сприяє створенню стійких до солі, грампозитивних і каталазопозитивних бактеріальних спільнот із нижчою кислотостійкістю.

Розвиток дріжджів у сирі залежить від багатьох фізико-хімічних умов, таких як низький рН, вміст плісняви, висока концентрація солі, дозрівання в холодильнику та подальші умови зберігання. Дріжджі, що ростуть на поверхні сиру, повинні витримувати низький рН, низьку температуру, низьку активність води та високу концентрацію солі. Метагеномні дослідження показали, що під час дозрівання сиру за різних температур відбуваються зміни в мікробних спільнотах і їхніх функціях, зокрема підвищується протеоліз, ліполіз та експресія генів, пов'язаних із катаболізмом амінокислот і ліпідів, що впливає на швидкість дозрівання та смаковий профіль сиру. Грибкові закваски, такі як *Penicillium albicans* і *Pe. roqueforti*, мають протеолітичну та ліполітичну активність: *Pe. albicans* утворює білі гіфи, тоді як *Pe. roqueforti* надає пряний смак та темно-зелений колір. У сучасних технологіях дріжджі також використовуються як допоміжні культури для покращення смаку, текстури та скорочення часу дозрівання; прикладом є *Candida lipotica* у виробництві блакитного сиру. Найпоширеніші дріжджі у пліснявому та бактеріальному поверхневому дозрілому сирі включають *Kluveromyces*, *Debaryomyces* та види *Saccharomyces*. У французькому сирі *Reblochon* виявлено *Candida* spp. і *C. zeylanoides*; у сирі *St. Nectaire* – *D. hansenii* та *K. marxianus*; у сирі Тільзітер – *Y. lipolytica*, *K. marxianus* та *D. hansenii*.

Більшість дріжджів, виділених із поверхні зрілих сирів, стійкі до солі. Наприклад, *D. hansenii* переносить високі концентрації NaCl і використовує лактозу, молочну та лимонну кислоти для росту. Дріжджі метаболізують залишковий лактат, знекислюючи поверхню сиру та виробляючи вітаміни й

попередники, такі як ніацин, рибофлавін і р-амінобензойна кислота, що сприяє росту *B. linens*, *D. hansenii* і *Y. lipolytica* прискорюють дозрівання чеддера та покращують його смак, тоді як *Y. lipolytica* і *K. lactis* використовуються для дозрівання блакитного сиру. *Kluyveromyces lactis* та *K. marxianus* споживають залишкову лактозу, виробляючи CO₂, що важливо для сирів з відкритою структурою, таких як Рокфор. *K. marxianus* також утворює леткі ароматичні сполуки, ефіри та ацетальдегід, забезпечуючи фруктові, цибульні, масляні та квіткові ноти. *Pichia kudriavzevii* NX має високу позаклітинну протеолітичну активність і виробляє ароматичні сполуки, включно з етанолом, етилацетатом, 3-метилбутанолом та оцтовою кислотою, що впливає на коньячний, трав'янистий і цибульний аромат казахського сиру. Текстура сиру з *K. marxianus* і *Pi. kudriavzevii* відносно більш крихка. *K. lactis* і *Pichia fermentans* формують типову дріжджову мікробіоту фети, тоді як *Y. lipolytica* і *G. candidum* суттєво впливають на смак під час виробництва та дозрівання сиру.

Штами *Geotrichum candidum* зустрічаються всередині та на поверхні сиру і швидко ростуть на ранніх стадіях дозрівання, зокрема в сирах Лімбургер, Тільзіт і Романо. Вони метаболізують галактозу, але не лактозу. У порівнянні, *D. hansenii* одночасно споживає лактозу та лактат на ранніх стадіях дозрівання. *Yarrowia lipolytica* є суто аеробним дріжджем і метаболізує лактат. *G. candidum* активно розщеплює казеїн і жир, підвищуючи виділення аміаку, тоді як *D. hansenii*, *G. candidum* і *Y. lipolytica* виробляють леткі сполуки (альдегіди з розгалуженим ланцюгом, спирти), що формують смак сиру. *Y. lipolytica* домінує в продуктах із високим вмістом білка або жиру завдяки своїй сильній ліполітичній і протеолітичній активності та продукує органічні кислоти, сульфіді, фурані і коротколанцюгові кетони. Співіснування *Y. lipolytica* і *G. candidum* може пригнічувати утворення гіф, а популяція *D. hansenii* значно зменшується за присутності інших дріжджів. Водночас *D. hansenii* може пригнічувати ріст *K. lactis* і *G. candidum*. В цілому, дріжджі, бактерії та цвіль у сирі утворюють симбіотичну мережу, що сприяє розвитку смаку, хоча механізм цього процесу потребує подальших досліджень.

Традиційні ферментовані сири переважно виробляються природним шляхом за участю різних мікробних штамів, що забезпечує унікальні смакові та ароматичні характеристики. Однак складність механізмів формування смаку та нестабільна сенсорна якість стають основними проблемами для стандартизації виробництва, що обмежує можливість переходу від ручного виробництва до промислового масштабу. Останні дослідження показали, що функціональні мікробні штами можуть істотно впливати на формування смаку сиру. Так, використання *Lactococcus lactis* CCFM 12 з високою естеразною активністю та активністю етанол-ацилтрансферази сприяє підвищенню концентрації етилацетату та посиленню фруктових ароматів у французькому камамбері. Додавання дріжджових штамів, таких як *Yarrowia lipolytica* і *Kluyveromyces lactis*, у поєднанні з *Penicillium roqueforti*, дозволяє підсилити аромат блакитного сиру через виробництво кетонів, сульфідів, фуранів, коротколанцюгових кетонів, альдегідів із розгалуженим ланцюгом та спиртів. Встановлено, що взаємодія різних дріжджів і плісняви може значно впливати на якість смаку та інтенсивність ароматів у кінцевому продукті. Формування смаку сиру тісно пов'язане з протеолізом, ліполізом та здатністю дріжджів розщеплювати лактозу, лактат і цитрат. Дріжджі, такі як *Debaryomyces hansenii*, *Y. lipolytica*, *Kluyveromyces marxianus*, *K. lactis* і *Pichia kudriavzevii*, беруть активну участь у виробництві летких ароматичних сполук і органічних кислот, які забезпечують типові смакові ноти – від фруктових і масляних до пряних, цибульних і трав'янистих. Крім того, дріжджі можуть прискорювати дозрівання сиру, впливаючи на його текстуру та стійкість до зовнішніх умов, таких як високий вміст солі, низький рН і низька активність води. Таким чином, застосування функціональних дріжджових штамів і контроль їхнього зростання у процесі дозрівання дозволяє стабілізувати сенсорні властивості традиційних сирів, підвищити однорідність продукту та розширити можливості промислового виробництва. Дослідження цих штамів відкриває перспективи для створення нових видів сиру з посиленим смаком і ароматом, а також для ефективного управління процесами дозрівання та формування якості продукту.

З розвитком науки і технологій традиційні методи виробництва сиру поступово можуть зменшувати своє значення. У цьому контексті застосування та збереження мікробних ресурсів, що використовуються у традиційних ферментованих продуктах харчування, є надзвичайно важливим. Особливо це стосується сиру, де мікробна популяція не лише забезпечує ферментацію, а й безпосередньо впливає на формування смаку та аромату. Оцінка впливу таких мікробних ресурсів на здоров'я людини через споживання традиційних кисломолочних продуктів є актуальним завданням сучасної харчової науки.

Мікробіота сиру відзначається високою екологічною адаптивністю, що визначає структурне різноманіття мікробної спільноти та смакові характеристики сирів різних країн. Регіональні та кліматичні особливості, а також різноманітність технологій обробки молока спричинили значні зміни у зовнішньому вигляді, текстурі та смакових якостях сирів по всьому світу. Метаболічна роль дріжджів у процесі дозрівання та формуванні якості сиру протягом тривалого часу була недостатньо вивчена, а механізми їхньої дії поступово уточнюються в останні роки.

Вивчення взаємозв'язку між структурою дріжджового співтовариства, формуванням дріжджової мікробіоти та виробленням смакових речовин є ключовим для створення сиру з бажаним смаком і стабільною якістю у стандартизованому процесі виробництва. Використання функціональних штамів дріжджів та оптимізація технологій переробки дозволяють не лише покращити смакові та ароматичні властивості сиру, а й забезпечити його однорідність та безпеку.

Отже, сир має потенціал стати продуктом широкого споживання у майбутньому, а його ринкові перспективи залишаються дуже значними. Цей огляд створює теоретичну основу для подальшої сукцесії та селекції функціональних дріжджових штамів, а також для вдосконалення технологій переробки, що сприяють покращенню смаку та якості ферментованих сирів.

1.12. Приклади сучасного інноваційного обладнання для виробництва сиру

Tetra Pak® Cheese Vat OST CH6 – це горизонтальний чан для приготування сирної маси, спеціально розроблений для виробництва таких видів сиру, як чеддер, паста філата та інші подібні сири. Він забезпечує ефективне змішування, нагрівання та контролює процес коагуляції молока, що сприяє однорідності згустку та підвищує якість кінцевого продукту.



Рис. 47. Горизонтальний чан для виробництва сирної маси Tetra Pak® Cheese Vat OST CH6 [50]

Це горизонтальна ванна для виробництва сирної маси, розроблена для ефективного виготовлення чеддери, пасти філата та інших подібних сирів. Вона оснащена всіма необхідними функціями для контрольованого та

передбачуваного процесу: наповнення сирного молока, змішування інгредієнтів, коагуляція молока, різання коагуляуму, інтенсивне змішування, злив сироватки, додавання води, непряме нагрівання та охолодження, спорожнення і СІР (очищення на місці). Використання теплої води в ямковому чохлі для нагрівання продукту дозволяє оператору точно контролювати швидкість і температуру нагрівання. Горизонтальна конструкція валу забезпечує ефективне перше відділення сироватки та запобігає утворенню грудок після зливу сироватки. Завдяки цьому пристрій дає високонадійні та повторювані результати, що робить його ідеальним для великих виробників, де ефективність і стабільна якість сиру є пріоритетними.

Tetra Pak® Cheese Vat Yieldmaster 2 – це інноваційний чан для сиру, який поєднує традиційно бажані функції та атрибути виробництва сиру з передовими технологічними рішеннями. Він забезпечує високу якість сирної маси та економічну ефективність виробництва, зберігаючи тривалу механічну цілісність і довговічність обладнання. Yieldmaster 2 розроблений для стабільного та контрольованого процесу, що дозволяє виробникам досягати оптимальної продуктивності та повторюваних результатів у виробництві різних типів сирів.



Рис. 48. Новий інноваційний чан для сиру Tetra Pak® Cheese Vat Yieldmaster 2 [51]

Tetra Pak® Cheese Vat Yieldmaster 2 призначений для виробництва широкого асортименту сирів, включаючи Чеддер, Моцарелла, Колбі, Мюнстер, Брік, Джек, Проволоне, Пармезан, Романо, Швейцарський, а також сири з низьким вмістом жиру та без жиру. Чан розроблений для забезпечення високої якості сиру та економічної ефективності виробництва, з особливим акцентом на утримання жиру в сирі, запобігання утворенню дрібних частинок, легкість промивання та санітарію. Особлива увага приділена довговічності обладнання, оптимізації капіталовкладень і поточних витрат на технічне обслуговування. Особливості обладнання: найвища продуктивність серед чанів для сиру на ринку – до 38 555 кг; довговічність, заснована на десятиліттях інженерного досвіду; механічна цілісність і стабільна робота для різних типів сирів.

Tetra Pak Cheese Vat OO спеціально розроблений для виробництва високоякісної сирної маси та сироватки. Чан підходить для виготовлення більшості типів сирів, включаючи тверді сорти, такі як Чеддер та Емменталь, напівтверді сорти, такі як Гауда та Тильзітер, а також м'які та свіжі сири, такі як блакитний сир і Фета, а також пасту філата.



Рис. 49. Tetra Pak® Cheese Vat OO – сирний чан для високоякісної сирної маси та сироватки [52]

Конструкція Tetra Pak Cheese Vat OO забезпечує гнучке виробництво сиру з високою продуктивністю, надійністю обладнання, безпечністю харчових продуктів і загальною ефективністю обладнання. Tetra Pak Cheese Vat OO надає такі переваги:

- широкий асортимент сортів сиру;
- унікальний у виробництві сирів різної жирності від 10+ до 60+;
- до 60% попередньої сироватки від номінального рівня наповнення;
- відмінна продуктивність різання та перемішування;
- продуктивність ванни не залежить від рівня наповнення;
- чудова здатність до спорожнення.

Tetra Pak® Grainy Cheese Vat E4 – це вдосконалене, високоавтоматизоване обладнання, яке використовується для приготування сирної маси на лініях для виробництва сиру або зернистого сиру.



Рис. 50. Tetra Pak ® Grainy Cheese Vat E4 у виробництві сиру або зернистого сиру [53]

Такі лінії можуть включати розповнювальні машини, пастеризатори, дренажі, баки, блендери та інше обладнання для виробництва сиру.

Tetra Pak® Grainy Cheese Vat E4 – це вдосконалене, високоавтоматизоване обладнання для приготування сирної маси на лініях виробництва сиру або зернистого сиру.

Воно має кілька переваг. По-перше, екструдовані з'єднання захищені від термічних тріщин, що підвищує безпечність харчових продуктів і продовжує

термін служби обладнання. По-друге, Vat E4 забезпечує гнучкість виробництва різних типів сирів, включно зі свіжими та м'якими, завдяки зміні параметрів обробки. По-третє, завдяки обережному перемішуванню втрати зменшуються, а жоден коагулят не залишається нерозрізаним.

Машина для наповнення та загортання плавленого сиру ARU – це автоматична пакувальна машина для фольгування плавленого та вершкового сиру алюмінієвою фольгою з системою легкого відкривання та маркування або без неї. Тип дозування – об'ємний.



Рис. 51. Машина для наповнення та загортання плавленого сиру [54]

Таблиця 9

Технічна характеристика ARU – машини для наповнення та загортання плавленого сиру

Тип машини	роторного типу, безперервної дії
Максимальна продуктивність, упаковок/хв	до 50 шт.
Маса дози, г	15 – 100
Температура вхідного продукту, °C	+ 65 – + 75
Пакувальний матеріал	покритий алюмінієвою фольгою
Товщина матеріалу, мм	0,012–0,014
Подача стисненого повітря, МПа	0,6
Витрата стисненого повітря, м³/хв	0,25
Розмір машини, мм	2690x1560x2065
Маса машини, кг	1660

Машина для наповнення та загортання плавленого сиру (ARU) від FASA - це автоматична машина, призначена для фольгування та пакування вершкового сиру та сирних спредів. Він загортає сир в алюмінієву фольгу або ламінат за допомогою аплікатора з відривною смужкою, який термозварюється для збереження свіжості продукту. Пакети випускаються прямокутної або квадратної форми, пропонують можливість легкої системи відкривання та гнучкого маркування. Машина оснащена пристроєм для маркування, який може наносити етикетки з одного боку, з трьох сторін або взагалі не наносити етикетки. Щоб задовольнити вимоги споживачів, машина забезпечує гнучкість перемикання між вагою порцій шляхом регулювання висоти порцій. Об'ємне дозування та подача продукту здійснюється через бункер з подвійною сорочкою на 85 л з мішалкою. Температура вхідного продукту від +65 до +75 °C. Машина призначена для фасування продуктів вагою від 15 до 100 г в один фіксований розмір, продуктивністю до 50 упаковок/хв. Пристрій для обгортання оснащений пристроєм для центрування фольги з фотоелементом, який забезпечує точне вирівнювання фольги над продуктом, забезпечуючи послідовне та центроване обгортання. Система збору відрізків фольги збирає надлишки обрізків фольги, що утворюються в процесі різання фольги, таким чином керуючи відходами та запобігаючи забрудненню. Машина керується ПЛК і має панель сенсорного екрану НМІ для зручного керування.

Питання для самоконтролю

1. Яку роль відіграє сир у харчуванні людей?
2. У чому полягає унікальність властивостей сиру?
3. Яку сировину, як правило, використовують для виготовлення сиру?
4. Як саме гліколіз, утилізація цитрату, протеоліз і ліполіз, беруть участь у формуванні смаку сиру?
5. Якщо у вихідному молоці забагато бактерій, що ферментують лактозу, чи можуть вони перешкоджати виготовлення сиру?

6. Яким шляхом відбувається перетворення рідкого молока в напівтверду масу?
7. Що таке мікробна ферментація у виробництві сиру?
8. Яким чином додавання належного вмісту солі впливає на якість сиру під час процесу його виготовлення?
9. Який вплив на процес формування якісного сиру мають інокуляція додаткових культур та екзогенних ферментів?
10. Які смакові речовини застосовують в технологіях виготовлення сиру?
11. Які смакові характеристики мають сири з низьким вмістом у своєму складі лактози?
12. Як ліполіз впливає на смак і текстуру сиру?
13. Як гідроліз казеїну впливає на смак твердих і напівтвердих сирів?
14. Що означає термін «критичні контрольні точки сиру»?
15. Що таке екосистема сиру?
16. Яку роль відіграють дріжджі у виробництві традиційних дозрілих сирів?

Рекомендована навчальна література

1. Власенко В.В., Головка М.П., Семко Т.В., Головка Т.М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
2. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
3. Сухенко Ю.Г., Поліщук Г.Є., Раманаускас Р.Й., Шингарева Т.І. Технологія сиру : підручник. Під заг. ред. Ю.Г. Сухенка. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компрінт, 2015. 412 с.
4. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О.В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. Режим доступу: <http://library.nuft.edu.ua>
5. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2013. 502 с.
6. Сухенко Ю.Г., Поліщук Г.Є., Раманаускас Р.Й., Шингарева Т.І. Технологія сиру : підручник. Під заг. ред. Ю.Г. Сухенка. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компрінт, 2015. 412 с.
7. Скарбовійчук О.М., Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А., Федоров В.Г. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник

- : навч. посібник. МОН України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 311 с.
8. Цехмістренко С.І., Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.
 9. Власенко В.В., Семко Т.В., Шаблій Л.М., Лавицький В.П. Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛІТД», 2015. 330 с. Режим доступу: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/11736.pdf>

Розділ 9. МОЛОКО РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

9.1. Різновиди рослинного молока

Більша залежність населення від білкових продуктів тваринного походження, таких як м'ясо та молоко, змінює вплив сучасної дієти на глобальне та індивідуальне здоров'я. Тому існує суттєва потреба у переході на рослинні дієти для зміцнення здоров'я людини, покращення харчової стабільності та зменшення забруднення, використання землі та води. Рослинне молоко походить з різних рослин, таких як ячмінь, мигдаль, соєві боби, овес, рис, кокос тощо.

9.1.1. Окремі різновиди рослинного молока

Молоко на рослинній основі виготовляється з розчинних екстрактів різних рослинних продуктів, таких як злаки, насіння, овочі та горіхи (рис. 52).



Рис. 52. Рослинне молоко [55]

Соеве молоко. Соеве молоко було одним із перших заміників молока, яке набуло широкого поширення. З усіх альтернативних варіантів соєве молоко найбільше схоже на коров'яче, особливо за вмістом білка та кальцію. Харчові характеристики склянки соєвого молока вражають: 8 г білка та 110 калорій. Одна склянка соєвого молока містить 45% рекомендованої денної норми кальцію, а деякі бренди навіть збагачують свої продукти таким необхідним вітаміном D. Деякі люди з обережністю ставляться до соєвих продуктів через вміст у них фітоестрогену та ГМО.

Фітоестрогени – це різнорідна група природних нестероїдних рослинних сполук, які завдяки своїй структурі, подібної з естрадіолом, можуть викликати естрогенний та (або) антиестрогенний ефект.

Естрадіол – основний і найактивніший жіночий статевий гормон групи естрогенів.

Щоправда, не має жодних переконливих доказів, що людям слід повністю уникати сої. Соя містить ізофлавоони, які можуть захищати від деяких проблем зі здоров'ям, таких як серцево-судинні захворювання та рак молочної залози.

Ізофлавоони є заміщеними похідними ізофлавоону, типу природних ізофлавоноїдів, багато з яких діють як фітоестрогени у ссавців. Ізофлавоони містяться в багатьох видах рослин, але особливо багато в соєвих бобах.

Але не слід забувати, що всі соєві продукти можуть підвищувати рівень тиреотропіну – гормону, який стимулює роботу щитовидної залози. Тому, якщо є проблеми зі щитовидною залозою або споживач приймає ліки для її лікування, варто обмежити споживання соєвих продуктів, щоб уникнути небажаного впливу на гормональний баланс.

Рисове молоко. Рисове молоко поступово набирає популярності. Цей напій роблять із перемеленого рису та води. Крім того, він містить олії, які надають напою більш густу консистенцію. Рисове молоко має один із найнейтральніших смаків серед усіх заміників молока. Разом з тим рисове молоко містить дуже багато вуглеводів. Воно ідеально підійде людям з алергією на сою, горіхи, з непереносимістю глютену або лактози.

Вміст цукру в рисовому молоці, як правило, вищий, ніж у коров'ячому молоці. Крім того, в ньому досить мало білка, а смак трохи рідкий і солодкий.

Кокосове молоко. Кокосове молоко добре відоме у кулінарії. Воно дуже популярне у східній кухні. Кокосове молоко відмінно підходить для солодких смузі або випічки і практично не містить вуглеводів та протеїнів. Цей напій виготовляють із тертої кокосової м'якоті, води та деяких загусників. Кокосове молоко – рекордсмен серед замінників молока за вмістом «хороших» насичених жирів. Головним його недоліком є відсутність білка, за який ми цінуємо коров'яче молоко. Таким чином кокосове молоко не підходить людям, які шукають джерело білка. Але якщо у раціоні достатньо рослинного чи тваринного білка, тоді кокосове молоко – ідеальний вибір. Воно також підійде алергікам, які не переносять молочні продукти, сою, горіхи або глютен (кокос вважають фруктом, а не горіхом).

Горіхове молоко. Горіхове молоко – новий гравець на ринку замінників молока. Його головні плюси – низький вміст жирів, мала кількість калорій та велика кількість білків. Цей напій найбільше нагадує коров'яче молоко за вмістом білків. Щоправда, у горіховому молоці більше цукру, ніж у коров'ячому молоці. Таким чином, горіхове молоко не бажано вживати людям, які дотримуються кето-дієти.

Кето-дієта – це дієта з високим вмістом жирів (до 80-90%) та дуже низьким вмістом вуглеводів (до 5-10%), в результаті чого організм для палива використовує кетони (проміжні продукти обміну жирів) замість глюкози.

Цей вид молока роблять із протеїнової пудри, яку одержують із жовтого гороху, також у нього часто додають олію та цукор. Горохове молоко сподобається людям, які сумують за коров'ячим молоком. Воно має приємний вершковий смак і містить велику кількість білка.

Вівсяне молоко. Вівсяне молоко – лідер за популярністю серед замінників молока. Багато кав'ярень пропонують вівсяне молоко як альтернативу звичайному коров'ячому молоку. У нього чудовий солодкуватий вершковий

смак. Крім того, вівсяне молоко містить багато білка, а також це відмінне джерело клітковини. Найкраще у вівсяному молоці те, що воно не містить жодних добавок: це просто овес, вода та трохи морської солі. Щоправда, вівсяне молоко містить більше вуглеводів, ніж інші заміники молока.

Мигдалеве молоко. Мигдалеве молоко це напій, приготований з меленого мигдалю, часто використовується як заміник справжнього молока. На відміну від тваринного молока, мигдалеве молоко не містить лактози і холестерину. Для приготування мигдалевого молока використовують ядра мигдалю та звичайну чисту воду. Горіхи замочують у воді на 8 годин, після чого ретельно перебивають блендером. Важлива перевага такого продукту – можливість зберігання без холодильника. Мигдалеве молоко винайшли ще в середні віки й відтоді воно стало незмінною складовою раціону.

Готове горіхове молоко, яке нині продається в магазинах, теж не обов'язково зберігати в холодильнику. Його смак, аромат і консистенція при зберіганні за кімнатної температури не змінюються. Мигдалеве молоко нескладно приготувати в домашніх умовах, але його смак буде виражений трохи слабше. Щоб зробити смакові якості більш яскравими, у напій з мигдального молока можна додати мед чи корицю. Це чудовий варіант не лише для вегетаріанського раціону, але й для вживання у період посту. Мигдалеве молоко можна додавати в різні напої та страви, наприклад коктейлі, капучино, лате та інші. Для вегетаріанців це вдала заміна коров'ячого молока, тим паче, що його можна приготувати в домашніх умовах, зберігаючи всі корисні властивості мигдалю. У молоці з мигдалю містяться вітаміни групи E, A, B, D, а також цінні мінеральні елементи. У складі багато кальцію, фосфору, магнію та цинку. Крім того, є марганець, мідь та залізо.

Молоко є багатим джерелом білка, вітаміну D і кальцію. Харчовий вміст рослинного молока залежить від рослини, з якої воно виготовлене. До молока рослинного походження можна вносити додаткові поживні речовини, щоб підвищити його поживну цінність і відтворити поживний склад тваринного молока.

Звичайне молоко містить лактозу, речовину, яка природно міститься в молоці, і може викликати непереносимість лактози у деяких людей. Оскільки рослинне молоко не містить лактози, воно є хорошим варіантом для людей з непереносимістю лактози або алергією на молочні продукти.

Використання рослинних заміників молока стає все більш популярним. Поява непереносимості лактози та алергії, занепокоєння щодо калорій і випадків гіперхолестеринемії, а також зростаюча тенденція до вегетаріанської дієти призвели до того, що в останні роки споживачі віддають перевагу рослинним заміникам молока.

Гіперхолестеринемією називають патологічний стан, при якому рівень холестерину в крові людини знаходиться вище норми. Надлишок холестерину, в свою чергу, підвищує ризик розвитку атеросклерозу і серйозних захворювань серцево-судинної системи.

Це може бути доступним варіантом для жителів країн, що розвиваються, з низькими доходами та регіонів з дефіцитом молочних продуктів.

Порівняно з тваринним молоком, рослинне молоко часто має характерний смак і консистенцію. Наприклад, кокосове молоко відзначається вершковим тропічним смаком, тоді як мигдальне – легким горіховим відтінком. Консистенція різних видів рослинного молока також може суттєво відрізнятися: деякі сорти рідші, інші – густіші за коров'яче молоко. Крім того, рослинне молоко вважається більш екологічним варіантом. Виробництво коров'ячого молока потребує вирощування та утримання великої кількості тварин, що супроводжується значними викидами парникових газів, високим споживанням води та землею. Рослинне молоко, залежно від джерела інгредієнтів та технології виробництва, може мати значно менший вплив на навколишнє середовище. Люди, які дотримуються веганської або рослинної дієти, або уникають продуктів тваринного походження з етичних чи екологічних міркувань, зазвичай обирають рослинне молоко. З іншого боку, ті, хто цінує традиційний смак молока та харчові властивості тваринних продуктів, можуть надавати перевагу звичайному

молоку. Рослинні альтернативи стають улюбленим вибором для веганів, людей з непереносимістю лактози або тих, хто прагне безмолочних варіантів у раціоні.

Соеве молоко привернуло велику увагу як поживна альтернатива звичайному молоку. Але останнім часом парадигма змінилася в бік вивчення зернових, бобових і горіхів з огляду на їх харчові та функціональні характеристики. Молоко на рослинній основі можна виготовляти з мигдалю, сої, вівса, кокоса, рису, коноплі, кіноа, гороху та інших немолочних джерел. Ці інгредієнти пропонують широкий вибір для створення рослинного молока з різними харчовими профілями. Завдяки різноманітності смаків, текстур і поживних профілів, які стали можливими завдяки цій різноманітності, споживачі мають широкий вибір варіантів молока рослинного походження, які відповідають їхнім смакам і дієтичним потребам. Щоб зробити рослинне молоко повноцінним з точки зору поживних речовин, можна додати такі поживні речовини, як кальцій, вітамін D, вітамін B₁₂ і білок, шляхом збагачення. Це дає змогу клієнтам задовольнити свої харчові потреби, особливо для тих, хто страждає непереносимістю лактози або дієтичними обмеженнями, включаючи веганів і людей, які мають чутливість до молочних продуктів. Інноваційні методи обробки часто потрібні для рослинних молочних продуктів для досягнення функціональності та смаку, порівнянних або кращих, ніж коров'яче молоко.

Замінники молока потрібні тим, у кого виявлено нестійку алергію на лактазу або молочний білок. Люди зі стійкою нестачею лактази складають близько 65% населення світу. Коли ці люди досягають зрілого віку, у них вироблення лактази знижується. Через це ці споживачі можуть відчувати метеоризм, судоми, діарею та здуття живота в результаті неефективного засвоєння ними лактози. У людей з алергією на білки молока ситуація важча. Коли ці великі молекули потрапляють в організм, вони викликають сильнішу імунну відповідь. Альтернативні способи виробництва рослинного молока є унікальним і привабливим сегментом ринку. Виробники рослинних замінників молока повинні гарантувати безпеку та якість своєї продукції. Пастеризація часто використовується, щоб довше зберігати їжу та напої, зменшуючи шкідливі

бактерії та ферменти. Напої рослинного походження обробляються, щоб зробити їх більш стабільними, запобігти псуванню та покращити їх смак і текстуру, щоб люди могли насолоджуватися ними. Традиційний спосіб пастеризації передбачає використання тепла для деактивації мікроорганізмів і ферментів у їжі. Однак високі температури (від 60 °C до 130 °C), які використовуються в цьому процесі, можуть ненавмисно змінити фізичні, хімічні, сенсорні та поживні характеристики харчових продуктів і напоїв. Сільське господарство та продовольча система стикаються з великими проблемами, такими як зростання населення, конкуренція за ресурси, зміна клімату, конфлікти, кризи та харчові відходи. Щоб вирішити ці проблеми, бажано перейти до більш стійких систем виробництва продуктів харчування. Удосконалення продовольчих систем допоможе досягти Цілей сталого розвитку для миру та процвітання, як зазначено в Порядку денному сталого розвитку до 2030 року, прийнятому всіма державами-членами ООН у 2015 році.

Мета цього розділу – дослідити переваги рослинного молока як заміни коров'ячого молока для харчування, навколишнього середовища та здоров'я. У ньому буде розглянуто склад молока, стійкість і вплив на людей з непереносимістю лактози або алергією на молоко.

9.2. Виробництво молока на рослинній основі

Молоко на рослинній основі виготовляється з розчинних екстрактів різних рослинних продуктів, таких як злаки, насіння, овочі та горіхи. Виробництво рослинного молока зросло через глобальні зміни та зрушення в уподобаннях споживачів. Сучасні споживачі визнають харчові переваги вживання напоїв рослинного походження. Ці продукти не містять лактози, холестерину та тваринного білка, а також містять високий рівень клітковини, антиоксидантів, ізофлавоноїдів, мононенасичених та поліненасичених жирів. Крім того, напої на рослинній основі можуть імітувати сенсорні та текстурні характеристики звичайного молока. Хоча, поряд із зазначеними перевагами, ці продукти мають і

недоліки порівняно з коров'ячим молоком. Одним із помітних недоліків є дисбаланс поживних речовин у напоях рослинного походження, що може вплинути на їх визнання на ринку. Альтернативи рослинного молока мають менший вміст білка та менше основних поживних речовин, у порівнянні з продуктами тваринного походження. Засвоюваність рослинних білків також нижча, ніж тваринних. Крім того, рослинні замінники містять антинутриєнти, такі як інгібітори трипсину, фітинову кислоту та інозитолфосфати.

Інозитолфосфати являють собою групу моно- або гексафосфорильованих інозитів. Кожна форма інозитолфосфату відрізняється кількістю та положенням фосфатної групи в інозитоловому кільці.

Ці елементи перешкоджають перетравленню поживних речовин у напоях рослинного походження. Щоб задовольнити харчові потреби, до цих продуктів можна додати мінерали та вітаміни. Змішування різних рослинних джерел збільшує різноманітність амінокислот і покращує поживну цінність напою. Це пояснюється тим, що кожне рослинне джерело привносить у суміш свої власні харчові та фізичні властивості. Процес створення напоїв на рослинній основі відрізняється залежно від використовуваної сировини. Процес виробництва напоїв на рослинній основі відбувається за однаковою схемою, незалежно від типу використовуваної сировини. Однак початкові етапи обробки відрізняються залежно від її характеристики.

Виробництво рослинного молока включає кілька ключових етапів, кожен з яких потребує використання спеціального обладнання та техніки:

1. *Підготовка сировини.* Спершу сировину необхідно ретельно підготувати. Для цього її замочують у воді, щоб пом'якшити й полегшити подальшу обробку. Обладнання: місткості для замочування з контролем температури та часу.

2. *Подрібнення та екстракція.* Після замочування сировина подрібнюється до дрібної консистенції. Потім за допомогою води екстрагуються необхідні компоненти. Обладнання: промислові млини, екстрактори.

3. *Фільтрація*. Відокремлення твердої фази від рідини забезпечує отримання чистого молока без сторонніх домішок. Обладнання: фільтраційні системи, прес фільтри.

4. *Гомогенізація*. Процес гомогенізації забезпечує рівномірний розподіл жирів і покращує стабільність продукту. Обладнання: гомогенізатори високого тиску.

5. *Пастеризація та стерилізація*. Для збільшення терміну зберігання та знищення мікроорганізмів рослинне молоко піддається пастеризації або стерилізації. Обладнання: пастеризатори, стерилізатори.

6. *Пакування*. Готовий продукт упаковується в різні типи пакувань, такі як картонні коробки, пластикові або скляні пляшки. Обладнання: пакувальні машини, етикетувальні системи.

Горіхи та насіння, як правило, очищають від шкірки, тоді як крупи, псевдокрупи та овочі замочують у гарячій воді та сушать разом. Певну сировину також можна обсмажувати або обробляти кислотами та основами для покращення стабільності емульсії, усунення токсинів і підвищення загальної ефективності процесу. Наступний крок передбачає подрібнення сировини, щоб зробити її меншою, що покращує контакт з рослинною матрицею під час екстракції. Сухе подрібнення менш поширене для овочів через високе енергоспоживання та перешкоди процесу відбілювання. Тому вологий помел зазвичай використовується для виготовлення замінників молока на рослинній основі, куди додають воду для прискорення обробки та підвищення ефективності відбілювання. Відбілювання зменшує мікробіологічне та ферментативне навантаження продукту. Фільтрування слідує за відбілюванням для отримання водорозчинного екстракту. Антиоксиданти та консерванти додаються згодом для підвищення стабільності. Харкову цінність продукту можна підвищити додаванням білків, вітамінів і мінералів. Зменшення розміру колоїдних часток рослинних напоїв під час процесу гомогенізації покращує їхню стабільність, майже не змінюючи в'язкість або білковий склад. У результаті протягом встановленого терміну придатності продукт стає більш стійким проти

седиментації та розділення фаз. Пастеризація – завершальний етап обробки рослинних напоїв. Ультрапастеризаційна теплова обробка часто використовується як швидкий і ефективний спосіб, що гарантує високий рівень мікробної та ферментативної безпеки продукту. Передові технології, такі як ультразвук високої інтенсивності, високий тиск, мікрохвилі, імпульсне електричне поле, омичний нагрів, надкритичний вуглекислий газ і УФ-випромінювання пропонує альтернативу традиційній термічній обробці для стабілізації рослинних напоїв. Ці інноваційні методи слід розглядати як замітники.

Багато молочних продуктів рослинного походження використовують соєвий білок і пшеничну клейковину як джерело білка. Спочатку ці інгредієнти були побічними продуктами виробництва олії та крохмалю. Однак деякі люди мають алергію на сою та пшеницю, що є проблемою. Тому, щоб уникнути алергії, деякі виробники рослинного молока перейшли на використання інших білків бобових, таких як білок гороху, замість сої та пшениці. У бобових культурах присутність антипоживних речовин, таких як інозитолфосфати та інгібітори трипсину, перешкоджають засвоєнню деяких цінних поживних речовин, особливо катіонів, таких як кальцій, цинк, магній і залізо, негативно впливаючи на їх біодоступність і засвоюваність білка.

Трипсин – фермент, серинова протеаза, знайдена в травній системі тварин (виділяється разом із панкреатичним соком у тонку кишку), де вона руйнує білки. Трипсин широко використовується для ряду штучних біотехнологічних процесів. Процес дії цього ферменту називається трипсиновим протеолізом або трипсинізацією, а зруйновані ним білки – трипсинізованими.

Попередня обробка продуктів, така як ферментація, пророщування, використання хелатоутворювачів або додавання екзогенної фітази, а також різні методи теплової обробки, може значно зменшити антипоживну дію компонентів їжі. Ці методи сприяють розщепленню сполук, які обмежують засвоєння мінералів і поживних речовин, роблячи продукт більш біодоступним і корисним для організму..

Фітази – група ферментів, що належать до підкласу фосфатаз, що здійснюють вивільнення хоча б одного фосфат-іону з молекули фітинової кислоти. В результаті гідролізу фітинової кислоти утворюються нижчі (тобто містять менше шести залишків фосфорної кислоти): інозитолфосфати, інозитол та неорганічний фосфат, а також вивільняються пов'язані з фітатами катіони.

Гороховий білок стає все більш популярним у виробництві рослинного молока, оскільки він рідко викликає алергічні реакції, на відміну від соєвого або пшеничного білка. Рисове та кокосове молоко містять менше поживних речовин порівняно з коров'ячим молоком, але вони залишаються зручними альтернативами для людей з алергією на сою, мигдаль чи інші поширені інгредієнти рослинного молока. Підвищення поживної цінності та поліпшення смаку і текстури цих продуктів за допомогою нових технологій обробки може зробити їх ще більш привабливими для споживачів. Білок багатьох вегетаріанських та веганських продуктів часто залежить від сої, тому важливо стежити за достатнім надходженням білка, вітамінів і мінералів у раціоні. Деякі бобові, включно з горохом, сочевицею, квасолею та арахісом, можуть викликати алергічні реакції різного ступеня тяжкості. Найвідомішими алергенами серед бобових є арахіс і соя, проте нут, квасоля мунг, чорний грам та інші види гороху також можуть провокувати реакції у деяких людей. Сучасні наукові дослідження допомагають краще зрозуміти харчові реакції та непереносимості, що дозволяє уникати продуктів, які викликають симптоми, при цьому забезпечуючи збалансоване харчування. Підвищення обізнаності про харчову алергію та непереносимість дозволяє людям ефективніше керувати своїм станом здоров'я та зменшувати ризики для організму.

9.3. Харчові аспекти рослинних замінників молока

Напої рослинного походження містять менше мікроелементів і амінокислот порівняно з іншими напоями. Але вони привабливі тим, що містять

клітковину, антиоксиданти та ізофлавоноїди рослин, які є корисними для здоров'я.

Ізофлавоноїди – нейтральні органічні сполуки, похідні 3-фенілхромен-4-ону, які включають відновлені по 2–3 вуглець-вуглецевому подвійному зв'язку, відновлені по кетогрупі та гідроксильовані в різних положеннях.

Молоко дає хорошу кількість енергії, приблизно 68 калорій на 100 г. Ця енергія надходить із білків, жирів і вуглеводів у молоці. Напої рослинного походження, які замінюють тваринне молоко, мають бути дуже енергійними та мати хорошу суміш поживних речовин.

Сьогодні використання зернових, олійних культур і горіхів для виробництва рослинних замінників молока стало особливо популярним завдяки їхній подібності до тваринного молока та низькому вмісту лактози й холестерину. Проте на відміну від коров'ячого молока, рослинні замінники стикаються з проблемами кінетичної стабільності, харчового складу та органолептичних властивостей. Повністю замінити молоко складно, оскільки споживачі повинні розуміти його користь для здоров'я. Рослинне молоко виділяється як зручна альтернатива для тих, хто шукає безлактозні та безхолестеринові продукти, і водночас відповідає зростаючому попиту на функціональні та поживні дієти. Його використання забезпечує можливість поєднання смакових переваг із корисними властивостями, що робить його привабливим для сучасних споживачів, які піклуються про здоров'я.

Напої рослинного походження часто є більш збалансованим та концентрованим джерелом енергії порівняно з молоком тваринного походження. Наприклад, рисові напої багаті вуглеводами, тоді як кокосове молоко містить високий рівень насичених жирів. Соеві та мигдальні напої зазвичай мають низький вміст моно- та поліненасичених жирних кислот. Інші рослинні молочні напої характеризуються низьким вмістом холестерину та вуглеводів, за винятком рисових напоїв. Вміст мінералів у рослинному молоці, як правило, нижчий (30–50 %) порівняно з молоком тваринного походження, тому часто необхідне їхнє збагачення для досягнення збалансованої харчової цінності. Тваринне молоко

містить більше кальцію, фосфору, магнію та натрію. Водночас горіхові напої мають рівень солі, подібний до коров'ячого молока, а соєві та кокосові напої забезпечують кращу доступність магнію, заліза та міді. Рослинне молоко також менш схильне до забруднення важкими металами, такими як свинець, ртуть, кадмій і миш'як, що робить його безпечнішим вибором для споживачів. Якість білка рослинного молока можна покращити шляхом використання сумішей різних рослин, навіть якщо тваринні білки мають ширший амінокислотний профіль і краще засвоюються. Незважаючи на високий вміст антипоживних речовин, соєві напої пропонують оптимальне поєднання мікро- та макроелементів.

Арабіноза – моносахарид із групи альдопентоз – альдоз, у молекулах яких п'ять атомів Карбону.

Вівсяне молоко стало популярним завдяки високому вмісту β -глюкану – розчинної клітковини з нутрицевтичними властивостями. Ця речовина збільшує час проходження шлунково-кишкового тракту, уповільнює спорожнення шлунку та покращує в'язкість розчину, що сприяє кращому травленню та відчуттю ситості. Мигдальне молоко цінується через високу концентрацію альфа-токоферолу – потужного антиоксиданту та попередника вітаміну Е, що підтримує антиоксидантний захист організму. Крім того, мигдаль багатий на кальцій, магній, селен, мідь, калій і цинк, що робить молоко поживним і корисним для кісток та імунної системи. Високий вміст арабінози в пектинових сполуках клітинної стінки мигдалю також сприяє зниженню рівня холестерину в крові, підвищуючи користь напою для серцево-судинної системи.

9.4. Інноваційні технології обробки молока рослинного походження

Мікрохвильовий нагрів. Дослідження показало, що нагрівання соєвого молока в мікрохвильовій печі при температурах 70 °C, 85 °C і 100 °C протягом 2, 5 і 8 хвилин на частоті 2,45 ГГц порівнювали з традиційним нагріванням. Результати продемонстрували, що мікрохвильова обробка забезпечує засвоюваність білка на рівні 82–89 %, що трохи нижче, ніж при традиційних

методах (84–92 %). Водночас мікрохвильова обробка ефективніше інактивує інгібітори трипсину – 3–18 % порівняно з 1–9 % при звичайному нагріванні, що сприяє кращій безпеці та перетравності білка.

Мікроорганізми та ферменти відіграють ключову роль у безпечності та якості харчових продуктів. Дослідження показали, що мікрохвильова (MW) та комбінована мікрохвильова ультразвукова (MW-US) обробка соєвого молока значно знижує чисельність мікробів – зі $6,42 \cdot 10^6$ КУО/мл у свіжому молоці до 670 ± 12 КУО/мл при MW і 55 ± 4 КУО/мл при MW-US. Крім того, ці методи ефективно пригнічують активність ферментів, зберігаючи поживні та фізико-хімічні властивості продукту краще, ніж стандартна термічна обробка, що є критичним для комерційної життєздатності соєвого молока.

Екстракція за допомогою мікрохвиль перевершує впорскування парою при обробці соєвого молока, підвищуючи вміст білка, загальну кількість розчинних твердих речовин і їх розчинність. Мікрохвилі руйнують рослинні клітини, вивільняючи білки, ліпіди та інші розчинні компоненти, усувають антипоживні речовини, покращують аромат через реакції Майяра та інгібують окислювальні ферменти. Це сприяє підвищенню поживної цінності, сенсорної привабливості та продовженню терміну зберігання продукту.

Таким чином, мікрохвильове нагрівання забезпечує кращий нагрів харчових матриць, таких як напої на рослинній основі, рівномірним і об'ємним способом за короткий час без шкоди для поживних компонентів, таких як вуглеводи, білки, мінерали та вітаміни, оскільки електромагнітне випромінювання низької енергії не здатне до розриву і модифікації молекулярних зв'язків. Тому це неіонізуюче випромінювання також допомагає зберегти сенсорні властивості харчових продуктів.

Омічний нагрів, або Джоулев нагрів, – це метод електричного нагрівання, який широко застосовується в харчовій промисловості. Він особливо ефективний для рідких і напівтвердих рослинних продуктів, таких як фруктові та овочеві соки, пюре та рослинне молоко, забезпечуючи швидке й рівномірне нагрівання без термічного пошкодження цінних поживних речовин. Воно забезпечує

рівномірне нагрівання, краще, ніж мікрохвильова піч або радіочастотне нагрівання. Цей метод використовується для багатьох харчових процесів, таких як пастеризація, стерилізація, варіння, фумігація, розморожування, екстракція та ферментація, що забезпечує високу якість їжі. Використання омичного нагрівання зростає у військових і космічних місцях через його переваги. Дослідження показують, що використання цього методу не змінює поживні, функціональні, сенсорні чи синтетичні аспекти їжі порівняно з традиційними методами. Воно може добре подовжити термін придатності та є кращим для нагрівання, оскільки швидко, але не надто сильно нагріває поверхню та може використовувати нижчі температури. Омичний нагрів використовує електромагнітні методи, такі як радіоактивний діелектрик, ємнісний діелектрик, радіоактивне магнітне та індукційне нагрівання. Обробка омичним нагріванням подібна до систем мікрохвильового нагрівання, але працює на інших частотах. При обробці омичним нагріванням прямого опору електричний струм нагріває рідини та тверді тіла одночасно. При безперервному омичному нагріванні для створення електричного струму використовується спеціальний генератор. Було використано омичний нагрів для концентрування молока шляхом випаровування, уникаючи втрати аромату та зміни кольору, які спостерігаються при традиційному випаровуванні. Омичний нагрів швидко і рівномірно нагріває молоко, дозволяючи виробляти безпечні, якісні продукти. Це також зменшило кількість мікробів, подовжуючи термін зберігання молока.

Китайські дослідники продемонстрували, що омичний нагрів інактивує такі ферменти, як уреаза, інгібітор трипсину та інгібітор хімотрипсину ефективніше, ніж звичайні підходи. Зразки, оброблені омичним нагрівом, мали значно знижену залишкову активність ферментів. Ці висновки свідчать про те, що омичний нагрів покращує поживну якість і смак соєвого молока шляхом посилення інактивації ферменту.

Коли ліпоксигеназа окислює поліненасичені жирні кислоти, такі як ліноленова та ліолева кислоти, утворюється перекис водню.

Ліпоксигенази — це родина залізовмісних ферментів, які каталізують диоксигенацію поліненасичених жирних кислот у ліпідах, що містять цис, цис-1,4-пентадієнові структури. Широко зустрічаються в рослинах, грибах і тваринних організмах

Ці проміжні сполуки розкладаються на хімічні речовини, такі як 3-цис-гексенал і гексаналь, що призводить до появи бобового смаку. Подрібнення соєвих бобів при температурі вище 80 °C зменшує неприємні присмаки за рахунок зниження рівня гідропероксиду. Ідеальна високотемпературна обробка балансує покращення смаку та збереження поживних речовин.

Мікрофлюїдизація. Після мікрофлюїдизації емульсія білка волоського горіха продемонструвала найменший розмір крапель і дуже однорідний розподіл. Це пояснюється тим, що високий тиск і сильні сили зсуву під час мікрофлюїдизації ефективно розщеплюють великі білкові агрегати, роблячи емульсію більш стабільною. Дослідження показали, що температури денатурації для негомогенізованого, традиційно гомогенізованого та мікрофлюїдизованого білка становили приблизно 135,65 °C, 144,52 °C та 154,87 °C відповідно. Ентальпії денатурації були 89,48 Дж·г⁻¹, 102,1 Дж·г⁻¹ і 111,76 Дж·г⁻¹. Це свідчить про те, що мікрофлюїдизація підвищує термічну стабільність білка. Покращення термічної стабільності пов'язане зі змінами гідрофобності поверхні білкових молекул, викликаними їх розтягуванням під час мікрофлюїдизації. Гідрофільні білки зазнали більшої денатурації та агрегації, що обмежило набухання та покращило взаємодію білка з водою, підвищуючи стабільність емульсії при нагріванні.

Мікрофлюїдизація порушує компоненти молока, що призводить до зменшення ліпідних крапель і покращення стабільності та засвоюваності білка. Це покращує антибактеріальне проникнення та антимікробну дію. Як процес гомогенізації під високим тиском, вона виробляє емульсії на рослинній основі, які нагадують молоко. Гомогенізація під надвисоким тиском покращує смак соєвих і мигдальних емульсій шляхом мінімізації окислення ліпідів і сторонніх присмаків.

Промислова система мікрофлюїдізації дала стабільну емульсію цільного арахісового молока без видалення залишків. Таке молоко продемонструвало максимальну стабільність при зберіганні під тиском 120 МПа та 4°C завдяки дрібнішим частинкам, густішій консистенції та інкапсуляції крапель олії білковою мережею. Така система дозволила також покращити смак арахісового молока, що зробило її життєздатним промисловим рішенням.

Рослинне молоко часто згортається під час нагрівання через розгортання та агрегацію білка. Кислотність, розчинені мінеральні речовини та додаткові компоненти, такі як цукор, впливають на процес злипання. Розуміння цих характеристик має вирішальне значення для підвищення термостійкості рослинного молока та запобігання його згортанню.

9.5. Нетеплові інноваційні технології обробки молока рослинного походження

Обробка під високим тиском. Обробка під високим тиском заміників молока рослинного походження має значний вплив на їхні фізико-хімічні властивості з мінімальною зміною поживних властивостей або без неї. Повідомлялося, що робочий тиск 200–600 МПа та температура 30–85 °C підвищують стабільність рослинних напоїв шляхом зменшення розміру колоїдних частинок, паралельно знищуючи мікроорганізми. Обробка мигдального молока під тиском 450–600 МПа призвела до збільшення розміру частинок у п'ять-шість разів завдяки утворенню відносно більших агрегатів, ніж ті, що утворюються при термообробці зразка. Сенсорні характеристики рослинного молока, обробленого під високим тиском, були дуже близькі до характеристик необробленого молока, тобто органолептичні властивості – смак, аромат, колір і текстура – суттєво не змінювалися. Це свідчить про те, що високий тиск є щадним методом обробки, який зберігає природні сенсорні якості продукту, забезпечуючи при цьому мікробіологічну безпеку та стабільність.

Обробка рослинного молока високим тиском (НРР) демонструє значний потенціал для забезпечення мікробіологічної безпеки та збереження біоактивних

компонентів. Дослідження показали, що подвійний цикл високого тиску (наприклад, $2 \times 1,5$ хв при 600 МПа) ефективніше знижує загальну кількість бактерій і Enterobacteriaceae, ніж одноразова обробка, а довші цикли ще більше зменшують бактеріальне навантаження. Такий підхід також сприяє знищенню спор, змушуючи їх проростати перед руйнуванням, що робить НРР більш ефективним, ніж стандартна пастеризація. Крім того, НРР краще зберігає біоактивні компоненти молока порівняно з тепловою обробкою. Наприклад, при 450 МПа протягом 15 хв частково зберігається лептин, що на 50% перевищує його збереження при традиційній пастеризації, тоді як втрата адипонектину становить близько 30%. Менше теплове навантаження допомагає зберегти корисні речовини, що підкреслює переваги НРР як щадного методу обробки молока – як рослинного, так і тваринного – для збереження поживних і функціональних властивостей.

Лептин – це гормон жирової тканини, що забезпечує регуляцію енергетичних, нейроендокринних і метаболічних процесів організму.

Адипонектин – гормон, який синтезується та секретується білою жировою тканиною, переважно адипоцитами вісцеральної області, перебуває у достатній кількості у крові – близько 0,01% загального білка плазми. Його секреція стимулюється інсуліном.

Імпульсні електричні поля. Дослідження підтверджують, що обробка рослинного молока імпульсним електричним полем (PEF) є перспективним методом збереження поживних властивостей. PEF допомагає зберегти важливі вітаміни, антиоксиданти та білки, які зазвичай пошкоджуються або втрачаються під час традиційної термічної пастеризації. Це робить PEF ефективною альтернативою для виробництва високоякісного рослинного молока, багатого поживними речовинами та з приємним смаком. Крім того, обробка PEF не спричиняє небажаних присмаків або значних змін аромату, зберігаючи органолептичні властивості продукту. Водночас вона ефективно запобігає потенційним загрозам якості, включаючи активність ферментів, наявність алергенів та антипоживних факторів. Таким чином, PEF поєднує безпечність,

збереження харчової цінності та відмінні смакові характеристики, що робить його перспективним для комерційного виробництва рослинного молока.

Високоінтенсивний ультразвук. Дослідження показали, що застосування ультразвукової обробки для виготовлення мигдального молока з добавками, такими як модифікований крохмаль, лецитин і агар, впливає на його фізико-хімічні властивості. Зразки піддавали ультразвуку при частоті 20 кГц і потужності 300 Вт протягом 0, 2,5 та 5 хвилин. Результати виявили, що обробка ультразвуком призводить до зниження значень °Brix у порівнянні з необробленими зразками. Це свідчить про те, що ультразвук впливає на розчинність та структуру твердих речовин у мигдальному молоці, можливо, розщеплюючи великі частки або змінюючи взаємодію між білками та полісахаридами, що призводить до зменшення концентрації розчинних сухих речовин. Такий ефект може впливати на консистенцію, густину та сенсорні властивості продукту, що є важливим для оптимізації технології виробництва рослинного молока.

Brix (Брікс) – американська одиниця вимірювання вмісту цукру у винограді, що приблизно відповідає подвоєній цифрі потенційного вмісту алкоголю, за умови, що весь цукор зброджений. 19,3 Брікса еквівалентні 10 % спирту.

Дослідження показали, що ультразвукова обробка суттєво впливає на фізико-хімічні та мікробіологічні властивості рослинного молока, зокрема мигдального та арахісового. Зниження значення °Brix у зразках після ультразвуку відбулося через руйнування клітинних стінок і полісахаридів, таких як модифікований крохмаль, під впливом сил кавітації. Це призводить до меншої в'язкості та зменшення концентрації розчинних речовин зі збільшенням часу обробки. Ультразвукова обробка також підвищує фізичну стабільність рослинного молока. В експерименті з мигдальним молоком безперервна обробка при 20 кГц і 300 Вт протягом 4,9 хв зробила екстракт фізично стабільним, зменшуючи осідання твердого матеріалу. Зі збільшенням часу обробки ультразвуком стабільність підвищувалася з 20 % (0 хв) до 90 % (5 хв), що

пояснюється подрібненням молекул пектину на дрібніші частини. Крім того, ультразвук значно зменшує розмір частинок у арахісовому молоці. Наприклад, необроблене молоко мало середній розмір частинок $0,29 \pm 0,05$ мкм, а при обробці ультразвуком 300 Вт розмір зменшувався до $0,21 \pm 0,02$ мкм, а при 400 Вт – до 0,02 мкм. Це підвищує гомогенність і стабільність емульсії. Ще однією важливою перевагою ультразвуку є мікробіологічне очищення. Обробка зменшує кількість мікроорганізмів у соєвому та мигдальному молоці, включно з кишковою паличкою та *Listeria monocytogenes*, що дозволяє подовжити термін зберігання рослинного молока та забезпечує його безпечність для споживання. У сумі, ультразвукова обробка покращує поживні, сенсорні та мікробіологічні характеристики рослинного молока, роблячи його більш стабільним, безпечним та довгостроково придатним для споживання.

Ультразвукова обробка суттєво покращує властивості рослинного молока. Вона зменшує розмір частинок, включно з жировими, змінює електричний заряд частинок і мікроструктуру, а також зменшує утворення осаду. Ці ефекти роблять молоко більш фізично стабільним, покращують його функціональні властивості, підвищують якість кольору та густоти, а також збільшують мікробну безпеку продукту. Таким чином, застосування ультразвуку є ефективною технологією для виробництва рослинного молока високої якості з покращеними характеристиками.

Зростання ринку заміників молока рослинного походження створює нагальну потребу у впровадженні інноваційних технологій обробки. Хоча ультразвукова обробка широко досліджувалася як метод гомогенізації коров'ячого молока, її потенціал для підвищення якості та подовження терміну зберігання немолочних заміників молока залишається недостатньо вивченим. У зв'язку зі зростанням споживчого попиту на такі продукти, дослідження здатності ультразвуку покращувати текстурну стабільність та органолептичні властивості рослинного молока відкриває багатообіцяючі перспективи для розвитку харчових технологій та створення високоякісних продуктів нового покоління.

Покращення терміну зберігання. Рослинне молоко є багатим джерелом поживних речовин, що робить його сприятливим середовищем для росту мікроорганізмів. Через це його якість може швидко погіршуватися без відповідної обробки. Традиційно для збереження продуктів використовується нагрівання, яке дозволяє знищити шкідливі мікроорганізми та продовжити термін придатності. Проте надмірне нагрівання може пошкодити поживні речовини, спричинити підрум'янення та змінити смак продукту. Для обробки рослинного молока застосовуються різні методи з контролем часу та температури. Пастеризація передбачає нагрівання до температур нижче 100 °C для знищення шкідливих мікробів, стерилізація в контейнері – нагрівання при 121 °C протягом 15–20 хвилин для досягнення комерційної стерильності, а ультрависока температурна обробка (УНТ) передбачає нагрівання при 135–150 °C протягом кількох секунд. При УНТ використовуються прямі методи нагріву (впорскування пари або вливання пари) та непрямі методи через пластинчасті чи трубчасті теплообмінники.

Гомогенізація під надвисоким тиском (УНРН) є ефективним методом стабілізації рідких продуктів, створюючи сили зсуву, кавітацію та турбулентність без нагрівання, покращуючи фізико-хімічні властивості та зберігаючи поживну цінність. Наприклад, обробка молока тигрового горіха при 300 МПа та 40 °C знищила більше мікроорганізмів, ніж традиційна пастеризація, та продовжила термін придатності з 25 до 57 днів. Соеве молоко, оброблене УНРН при 300 МПа, порівняно з УНТ, зберігало стабільність текстури та смаку, не мало терпкого присмаку та могло зберігатися до 90 днів без істотних змін. Таким чином, УНРН забезпечує безпеку, тривалий термін зберігання та високу якість рослинного молока з мінімальним впливом термічної обробки на смак і поживні речовини.

Використання ферментів для екстракції рослинних білків є перспективною альтернативою хімічним методам, оскільки ферментативна обробка м'яка, економічна, підвищує вихід білка та зменшує використання розчинників. Наприклад, дві протеази з насіння соняшнику, іммобілізовані в альгінатні сфери

та додані до соєвого молока при 30 °C протягом години, зробили продукт менш «бобовим» на смак і продовжили термін придатності з 10 до 25 днів, ймовірно завдяки утворенню антимікробних пептидів. Ферментація рослинного молока також покращує його харчову цінність і смак. Наприклад, ферментація мигдального молока пробіотиками підвищує засвоєння заліза та стимулює активність макрофагів. Культури *Lactobacillus reuteri* і *Streptococcus thermophilus* зберігають життєздатність навіть після проходження шлунково-кишкового тракту, забезпечуючи користь протягом 28 днів зберігання. Попри це, споживчий інтерес до ферментованого рослинного молока залишається помірним, що підкреслює потребу у вдосконаленні смаку, текстури та привабливості продукту. Ферментативна обробка поєднує безпечність, тривалий термін зберігання та підвищену харчову цінність, роблячи її ключовою технологією для виробництва високоякісних рослинних напоїв.

Мікрофлюїдизатори зазвичай застосовуються для розщеплення складних волокон і білкових структур, роблячи частинки меншими та більш однорідними. Проте невеликі сучасні мікрофлюїдизатори здатні обробляти лише відфільтровані рідини з дрібними частками, такі як молоко або фруктові соки, через обмежену продуктивність та невеликий об'єм потоку. Щоб подолати ці обмеження та зменшити утворення додаткових біологічних відходів, таких як окара під час виробництва соєвого молока, були розроблені великі мікрофлюїдизатори для промислового використання. Таке обладнання дозволяє обробляти соєве молоко без попереднього замочування або фільтрування, що спрощує технологічний процес, підвищує вихід продукту та зменшує відходи. Цей підхід робить виробництво більш ефективним і придатним для масштабного промислового виробництва рослинних напоїв.

Дослідження сухого соєвого молока, виготовленого розпилювальною сушкою, показують, що підвищення температури та концентрації продукту зменшує вологу, водопоглинання та насипну щільність, водночас покращуючи розчинність, текучість і пресованість. Менший вміст води та висока

змочуваність подовжують термін зберігання та полегшують повторне розведення продукту.



Рис. 53. PTH-10 Microfluidizer Гомогенізатор [56]

Обробка під високим гідростатичним тиском – це техніка безпеки харчових продуктів, яка використовує тиск від 100 до 800 МПа, з нагріванням або без нього, для інактивації ряду патогенних та шкідливих вегетативних бактерій, дріжджів, плісняви, вірусів і спор. Сукупна інтенсивність впливу температури та тиску може змінити хімічні, біологічні чи фізичні характеристики їжі.

Імпульсні електричні поля (PEF) використовуються для дезактивації мікробів у різноманітних харчових продуктах, не виявляючи практично ніякого впливу на смак, колір або поживні компоненти. Їжу поміщають між двома електродами та піддають дії високої напруги (від 1 до 80 кВ/см) короткими імпульсами (мілісекунди або навіть мікросекунди). Харчові продукти піддаються впливу різних діапазонів напруги відповідно до їхніх вимог (наприклад, електропроникність, розпад осаду та мікробіологічна інактивація). Обробка PEF скорочує загальний час обробки з високою ефективністю завдяки використанню дуже коротких, але потужних імпульсів

Ультразвук високої інтенсивності (HIU) застосовується для інактивації мікроорганізмів, використовуючи частоти від 20 до 100 кГц і інтенсивність потужності в діапазоні 10–100 Вт·см⁻². Основний механізм дії ультразвуку полягає у спричиненні структурних і фізіологічних змін у мікроорганізмах. Він

включає витончення та порушення клітинних мембран, що призводить до витоку клітинного вмісту, а також утворення вільних радикалів, які ушкоджують важливі біомолекули всередині клітини. Ці ефекти разом сприяють швидкій та ефективній загибелі мікроорганізмів, роблячи ультразвук високої інтенсивності перспективним методом для підвищення мікробіологічної безпеки харчових продуктів.

Кожна з цих технологій надає певні переваги та підходить для різноманітних рослинних матриць. Обробка під високим тиском та імпульсні електричні поля особливо корисні для рідких матриць, тоді як ультразвук високої інтенсивності та мікрофлюїдізація можуть використовуватися як для рідких, так і для напівтвердих матриць. Вибір технології визначається конкретними властивостями рослинної матриці, а також необхідними показниками якості готового продукту.

Питання для самоконтролю

1. В чому полягають особливості складу соєвого молока?
2. Що таке рисове молоко і які його властивості?
3. За рахунок чого кокосове молоко здобуває світову популярність?
4. У чому полягає корисність горіхового молока?
5. Якими характерними особливостями володіє вівсяне молоко?
6. В чому полягає перевага мигдалевого молока у порівнянні з іншим молоком рослинного походження?
7. За рахунок яких якісних характеристик молоко рослинного походження набуває популярність у споживачів?
8. Як інноваційні методи обробки покращують властивості рослинного молока?
9. Яким чином досягаються функціональність та смак молока рослинного походження?
10. У якому випадку споживачам необхідні замінники натурального коров'ячого або іншого молока?
11. Які натуральні продукти являються сировиною для виробництва молока рослинного походження?

12. Які ключові етапи застосовують у виробництво рослинного молока?
13. У чому полягають харчові аспекти рослинних замінників молока?
14. За яких умов використовують мікрохвильовий та омічний нагрів у виробництві рослинного молока?
15. Яким чином на якість молока з рослинної сировини впливають сучасні інноваційні методи обробки?
16. Які заходи є ефективними для покращення терміну зберігання рослинного молока та його якості?

Рекомендована навчальна література

1. Власенко В. В., Головка М. П., Семко Т. В., Головка Т. М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
2. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ : Світ книг, 2021. 290 с.
3. Кузьмін Є. С. Ефективність інвестицій підприємств молочної промисловості : монографія. Київ : ІАЕ, 2015. 254 с.
4. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. Режим доступу: <http://library.nuft.edu.ua>
5. Перцевий Ф. В., Терешкін О. Г., Гурський П. В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. За ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
6. Савченко О. А., Грек О. В., Красуля О. О. Актуальні питання технології молочно-білкових концентратів : теорія і практика : монографія. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компринт, 2015. 293 с.
7. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
8. Теличкун В. І., Гавва О. М., Теличкун Ю. С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
9. Поліщук Г. Є., Грек О. В., Скорченко Т. А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2013. 502 с.
10. Скарбовійчук О. М., Кочубей-Литвиненко О. В., Чернюшок О. А., Федоров В. Г. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник : навч. посібник. МОН України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 311 с.
11. Цехмістренко С. І., Кононський О. І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.

Розділ 10. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ ВИРОБНИЦТВ. РОБОТИЗАЦІЯ

10.1. Потреба молочного виробництва в системі автоматизації

Молочна промисловість за останні десятиліття досягла значного технічного прогресу, завдяки якому стало можливим перетворення сировини на готову продукцію у великих обсягах із високою точністю та передбачуваністю. Одним із ключових напрямів цього прогресу стало впровадження інноваційних технологій автоматизації, які забезпечують не лише підвищену продуктивність, а й високу якість та безпеку харчових продуктів. Автоматизація дозволяє оптимізувати та контролювати всі етапи технологічного процесу – від переробки молока до виробництва готових продуктів, таких як сир, йогурт або масло. Це включає точне регулювання температури, тиску, часу обробки, механічних операцій і гігієнічних процедур. Крім того, автоматизація значно зменшує ризик забруднення продукту та помилок, які можуть виникнути через людський фактор, і дозволяє працювати у складних умовах, наприклад при низьких температурах у морозильних камерах або приміщеннях для загартовування молока.

Сучасні автоматизовані системи в молочній промисловості поєднують кілька технологічних дисциплін. Серед них – робототехніка для точного виконання фізичних операцій, штучний інтелект для прогнозування та оптимізації процесів, а також електронні, механічні та комп'ютерні системи для моніторингу, управління та аналізу даних у реальному часі. Такий комплексний підхід дозволяє досягати стабільності якості продукції, зменшувати витрати на робочу силу, підвищувати безпеку та забезпечувати ефективність виробництва. Крім того, автоматизація відкриває нові можливості для гнучкості виробництва, дозволяючи швидко адаптуватися до змін у попиту, змінювати обсяги партій продукції та контролювати її якість відповідно до стандартів. Вона також сприяє підвищенню професіоналізму працівників, оскільки більшість ручної роботи замінюється точними автоматизованими процесами, а людина бере на себе

контроль та аналітичні функції. Таким чином, автоматизація у молочній промисловості є потужним інструментом, який забезпечує комплексне підвищення безпеки, якості, ефективності та прибутковості виробництва, одночасно зменшуючи вплив людського фактору та ризик технологічних помилок.

Серед різних напрямів автоматизації в молочній промисловості особливе значення мають автоматичні доїльні системи та доїльні роботи, які ефективно оптимізують управління та утримання худоби. Водночас автоматизація широко застосовується для забезпечення безперервного виробничого процесу з стабільною якістю, консистенцією та формою продукту, що неможливо досягти вручну.

Інновації в технологіях поступово знаходять застосування у різних промислових сферах. Харчова та молочна промисловість активно використовують автоматизацію для подолання різних проблем і мінімізації ризиків. Програмування системи автоматизації залежить від типу виробництва, і харчова промисловість входить до десятки галузей з найбільшим застосуванням автоматизованих заводів.

Головна мета автоматизації – контроль всіх етапів обробки та зниження витрат на робочу силу, яка може складати близько 50 % загальних виробничих витрат. Високий рівень ручної праці пов'язаний із частішими аваріями, нижчим контролем якості та підвищеним ризиком забруднення продукту мікроорганізмами. Використання автоматизації дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати на оплату праці та покращити прибутковість.

У роботі з молоком та молочними продуктами автоматизація забезпечує точне перекачування рідини насосами та ефективний контроль при обробці на різних етапах, включно з технологічними операціями при низьких температурах, наприклад у приміщеннях для загартовування або зберігання льоду. Роботи стають надійною альтернативою ручній праці, забезпечуючи стабільну якість та безпеку продукту.

Автоматизація – це технологія, яка виконується шляхом поєднання комп'ютерних систем і машин, попередньо запрограмованих і керованих людиною. Виходячи з природи продукту, фізична орієнтація механізму автоматизації може бути змінена, а інструкції щодо потоку виробничого процесу повністю подаються за допомогою електричних та електронних пристроїв. Сьогодні споживачів дуже хвилюють стандарти якості. Автоматизація відіграє важливу роль у забезпеченні високоефективної та складної технології переробки молока. Виконання процесу автоматизації в зоні обробки залежить від кількох ключових вимог для конкурентного успіху операції. Ця автоматизована операційна система надає численні переваги, серед яких: зменшення ризику зараження; усунення потреби у ручній праці в трудомістких процесах; гнучкість відповідно до обсягу продукції та стандартів якості; спрощене утримання дійної худоби на фермі; створення можливостей для працевлаштування кваліфікованих фахівців у сільському господарстві.

Оскільки розмір одиниці площі обробки збільшується, це також призводить до труднощів із технологією очищення на місці. Це вимагає пильної уваги до конфігурації трубопроводів, правильного регулювання кислотно-лужного рівня та ефективності очищення. Це можна подолати шляхом впровадження системи автоматизації з блокуванням, що забезпечує легкість обробки матеріалів і високий рівень ефективності очищення.

10.2. Автоматизація роботи молочних ферм

Раніше технічне обслуговування молочних ферм повністю покладалося на кваліфікованих працівників, які виконували широкий спектр завдань, таких як доїння, годування, візуальна ідентифікація тійки та інші операції. Впровадження автоматизованих систем для виконання цих процесів дозволяє зменшити ручну працю та запобігти втратам молочної худоби.

Виявлення тійки у молочної худоби. Виявлення тійки відіграє велику роль у утриманні молочного стада. На ранніх термінах проводиться візуальне виявлення, що призводить до низького рівня точності. Таким чином, це стає

головним обмежуючим фактором репродуктивної продуктивності сучасних молочних корів. У результаті було зроблено кілька спроб розробити нові автоматизовані пристрої для виявлення періоду тічки на основі підвищеної активності, температури тіла або вимірювання рівня прогестерону в молоці.

Прогестерон – статевий гормон хребетних тварин та людини. Прогестерон виявлено також у деяких комах та у рослин. За хімічною природою – стероїд. Попередником прогестерону є прегненолон, молекула якого містить ядро холестерину.

Поведінку корів, особливо під час тічки, можна відстежувати за допомогою електронного пристрою, чутливого до тиску. У момент активації пристрій передає сигнали радіохвилями на відстань до 0,4 км та виконує низку додаткових функцій. Комерційно доступні автоматизовані системи моніторингу активності працюють протягом тривалого часу і складаються з тегів HR (Heat і Rumination) та ідентифікаційного трансивера. Теги HR фіксують активність корів, зокрема інтенсивність рухів, жувальні характеристики та інші параметри, а зібрані дані зберігаються протягом певного періоду. Потім інформація передається через інфрачервоний зв'язок на фермерський комп'ютер і обробляється спеціалізованим програмним забезпеченням.

Автоматизована система доїння. Ірландська компанія Gascoigne Melotte розробила макет GM 2000, який інтегрує автоматизоване доїння, індивідуальне годування корів та реєстрацію надоїв з програмою управління фермою. Система вперше успішно застосовувалася в Північно-Західній Європі. Через зростання вартості землі та праці фермери були змушені шукати ефективніші рішення. Після досліджень перша комерційна реалізація відбулася в Нідерландах у 1992 році. До 2000 року технологію перейняли понад 90% молочних ферм у країні, а згодом – у Данії, Німеччині та Франції. Один із ключових модулів – молочний зал, що забезпечує гігієнічне та ефективне доїння, знижує ризик травм і підвищує продуктивність праці.

Доїння є трудомістким процесом, який потребує кваліфікованої робочої сили, займає значний час і може бути джерелом мікробного забруднення.

Сучасні молочарні оснащені високоефективними доїльними машинами та механічними допоміжними засобами. Доїльний апарат складається з вакуумних насосів та вакуумної ємності, що слугує резервуаром для збору молока. Вакуум створює негативний тиск, який відкриває соску, а молоко відбирається з вимені завдяки поєднанню негативного тиску та пульсації зі швидкістю 50–60 циклів на хвилину.

Шведська компанія De Laval разом із австралійськими фахівцями представила перший у світі комерційний роботизований роторний доїльний апарат. Цей робот використовує систему лазерних датчиків для визначення розташування сосків, а механічна рука автоматично під'єднує до них доїльні чашки. Найсучасніші доїльні роботи значно підвищили гігієнічність виробництва молока та економічну ефективність ферми. Система базується на добровільному доїнні: електронні мітки дозволяють роботам ідентифікувати тварин, очищати соски, приєднувати чашки та розпочинати процес доїння. Роботи самостійно від'єднують чашки після завершення процесу, а всі операції виконуються автоматично протягом дня згідно з програмою в базі даних. Переваги цієї технології включають економічну вигоду, збільшення частоти доїння та покращене управління стадом. Сьогодні автоматичне доїння активно використовується не лише для корів, а й для кіз та овець. На таких фермах застосовують додаткові пристрої, як автоматичне вакуумне відключення, лічильники молока та індикатори потоку, електронну ідентифікацію, програмне забезпечення для управління стадом та сортувальні ворота, що підвищує ефективність ферми та оптимізує управлінські рішення.

10.3. Автоматизація в молочних промислових операціях

Обробка харчових продуктів охоплює різні операції, які залежать від конкретного виду продукції. Для забезпечення стабільної якості всі робочі параметри потребують ефективного контролю. Автоматизація на молочних підприємствах виступає універсальним інструментом для вирішення таких

завдань, поєднуючи різні технології для точного виконання запрограмованих етапів обробки. На відміну від загальної харчової промисловості, у молочній сфері автоматизовані системи дозволяють приймати сире молоко навалом без урахування природних варіацій у розмірі, формі та однорідності сировини.

Система машинного зору. Це швидкий і економічний метод оцінки якості в харчовій промисловості. Система машинного або комп'ютерного зору використовується для безперервного моніторингу продукту: камера фіксує зображення, аналізує його, вимірює необхідні параметри та порівнює їх із попередньо встановленими значеннями. На основі отриманих даних виконуються автоматичні коригувальні дії за допомогою програмованого логічного контролера. Перевага цієї технології в молочній промисловості полягає в тому, що вона працює безперервно, не перериваючи виробничий процес. Крім того, обробка зображень ефективно використовується для раннього виявлення проблем зі здоров'ям великої рогатої худоби, таких як мастит, що важко помітити при груповому утриманні тварин.

Автоматизація за допомогою робототехніки. Сьогодні харчова промисловість активно впроваджує робототехніку по всьому світу. Промисловий робот – це автоматизована, попередньо запрограмована комп'ютерна система, що може працювати як стаціонарно, так і мобільно. Найчастіше роботи застосовуються на етапі завершальної обробки продуктів, наприклад для пакування та палетування. Вони складаються з маніпулятора, кінцевого ефектора, джерела живлення, системи керування, датчиків, підсилювачів і виконавчих механізмів, кожен з яких виконує свою функцію. Контролер координує рухи робота, а привід перетворює енергію на рухи відповідно до команд, які зберігаються в пам'яті системи. Маніпулятор виконує рухи для обробки продукту, а кінцевий ефektor – це рука або інструмент для безпосереднього контакту з продуктом. Джерело живлення перетворює змінний струм у необхідну постійну напругу для роботи внутрішніх схем.

Спочатку були створені недорогі роботи для харчової промисловості, що відповідали вимогам простоти обслуговування, безпечної роботи, високої

швидкості та легкості перепрограмування через програмований логічний контролер. Наприклад, були розроблені роботизовані системи для обробки м'якого морозива, що подається безпосередньо з морозильника без затвердіння. Такі технології автоматизують доставку продукту, зменшують витрати матеріалів і підвищують ефективність виробництва. Харчова промисловість є дуже конкурентною галуззю, де особлива увага приділяється розміру, формі та консистенції продукту, важливим для споживача.

У сирній промисловості роботи виконують трудомісткі операції, такі як обробка великої кількості сирної маси, перемішування, різання та перенесення форм. Автоматизація цих процесів забезпечує безперервний контроль і моніторинг, що гарантує високу якість готового продукту.

Наприклад, компанія Tetra Damrow™ (США) створила автоматизовану систему для виготовлення різних видів сиру – чеддер, ементаль, фета тощо – здатну обробляти великі обсяги сиру та сироватки. Tetra Tebel® (Велика Британія) розробила безперервну машину для виробництва чеддеру з чотирма конвеєрами, кожен з яких виконує окрему функцію: перемішування для видалення сироватки, матування та плавлення, подрібнення сирної маси та соління.

Компанія GEA (Німеччина) пропонує компактну автономну систему для виробництва моцарели, яка забезпечує безперервне протирання та формування сиру, зберігаючи бажану текстуру, смак і консистенцію. Система також контролює дозування сухої та рідкої солі. Загальне управління виробництвом сиру здійснюється через комп'ютеризовану автоматизацію з можливістю дистанційного контролю.

На лініях випікання роботизовані руки використовуються для роботи з гарячими лотками, що забезпечує безпечне виконання операцій, небезпечних для людини, та захищає працівників від промислових травм і аварій. Іншим важливим напрямком автоматизації є застосування онлайн-датчиків, які відіграють значну роль у сучасній харчовій промисловості. Для контролю широкого спектру показників якості та сенсорних характеристик харчових

продуктів впроваджено економічно ефективні інтелектуальні датчики та польові мережеві технології, що сьогодні успішно використовуються у виробництві.

Багато харчових і молочних компаній отримали суттєві переваги, застосовуючи промислових роботів для палетування, перевірки та контролю якості продукції. Роботи з візуальною підтримкою здатні ідентифікувати масиви продуктів або стоси в межах стандартної операції, розміщуючи готову продукцію в пакувальний матеріал або на потік обгортки, що забезпечує ефективну організацію процесу.

Робота у холодильних камерах для виробництва морозива при температурі близько -18°C є трудомісткою і небезпечною для людини, особливо при складуванні продуктів у верхніх частинах складу. Для таких завдань автоматизація є незамінною. Наприклад, у листопаді 2005 року компанія Autobag AB (США) представила напівавтоматичну систему пакування Autobag AB 145, яка забезпечує високу продуктивність і надійність. Ця система здатна фасувати та запечатувати мішки зі швидкістю до 45 мішків за хвилину в напівавтоматичному режимі.

У тому ж році компанія KUKA Robotics Corporation випустила роботизовану руку KUKA KR 40PAtm, виготовлену з композитного матеріалу на основі вуглецевого волокна – одного з найлегших матеріалів, що сприяє збільшенню пропускної здатності та ефективності виробничих процесів.

Сенсорна мережева система. Зі збільшенням кількості систем бездротового зв'язку їхнє застосування у харчовій промисловості стало більш широким і різноплановим, охоплюючи як виробничі, так і логістичні процеси. Одним із найбільш складних завдань є забезпечення безпеки харчових продуктів та запобігання їх забрудненню протягом усього ланцюга постачання, адже будь-яке порушення може призвести до серйозних ризиків для споживачів. Саме для цього активно впроваджуються інтелектуальні сенсорні мережі, що дозволяють відстежувати ключові параметри на кожному етапі виробництва та транспортування продуктів.

Багато підприємств харчової промисловості почали використовувати PDA (Personal Digital Assistance) – портативні мобільні пристрої для ефективного відстеження продукції, управління запасами та логістики. У молочній промисловості, зокрема, розроблено електронні датчики імпедансу для виявлення фальсифікацій у молоці різних типів, наприклад A1 і A2. Система на базі IC AD5933, високоточному перетворювачі імпедансу, забезпечує швидкий та точний аналіз молока в реальному часі. Це значно зручніше і ефективніше за традиційні хімічні лабораторні методи, які потребують багато часу та є менш точними.

Бездротові сенсорні мережі дозволяють інтегрувати різноманітні сенсорні вузли, що здійснюють контроль і записують параметри обробки: температуру, відносну вологість, склад хімічних сполук тощо. Це дає змогу проводити моніторинг у реальному часі, швидко реагувати на відхилення і забезпечувати стабільну якість продукції.

Для управління запасами, контролю якості та перевірки поживної цінності упаковки широко використовуються технології штрих-кодів, які пізніше доповнили системи зі спеціальними температурними датчиками та портативними сканерами. Найсучаснішою технологією стала радіочастотна ідентифікація (RFID), яка дозволяє відстежувати харчові продукти на всіх етапах ланцюга постачання та значно спрощує процеси контролю і логістики. Це не лише підвищує ефективність виробництва, а й зменшує ризики для споживачів, забезпечуючи прозорість і надійність ланцюга постачання.

Окрім цього, для підвищення якості та безпеки харчових продуктів застосовуються аналітичні технології процесів, які вперше були запроваджені у фармацевтичній промисловості Управлінням з контролю за продуктами й ліками США у 2004 році. Вони базуються на спектроскопічних датчиках, які дозволяють виявляти варіації процесу під час обробки, контролювати хімічні зміни, окислення та інші ключові параметри продукції. Онлайн-моніторинг цих показників значно підвищує ефективність контролю якості порівняно з

традиційним автономним тестуванням після обробки, яке є трудомістким і менш оперативним.

Таким чином, інтеграція бездротових сенсорних мереж, PDA, RFID та аналітичних технологій процесів формує сучасну систему контролю та управління харчовою промисловістю, що забезпечує високий рівень безпеки, ефективності та якості продукції на всіх етапах виробництва і постачання..

Supervisory Control and Data Acquisition, відома як **SCADA**, – це система, яка розвивалася протягом кількох десятиліть. Ця система керування зараз широко використовується в молочній та інших харчових галузях для виконання складних процесів, особливо в молочній промисловості, яка має величезну продуктивність. Операції контролюються головним терміналом, який називається віддаленим терміналом. Незважаючи на численні виклики, кілька підприємств харчової промисловості ініціюють цю систему SCADA для якісного виробництва. Однією з важливих операцій, задіяних у кожній харчовій промисловості, є CIP (Clean-In-Place), яка включає послідовність кроків, таких як попереднє промивання, промивання лугом, промивання кислотою, миття миючим засобом після завершення кожної партії. Було розроблено модульну та гнучку систему CIP з використанням систем автоматизації SCADA.

10.4. Автоматизована система керування в молочній промисловості

Харчова та молочна промисловість включають численні складні операції, які виконуються в контрольованих умовах для забезпечення безпеки та стабільної якості продукції. Для цього широко застосовуються технології управління процесом та технології нечіткої логіки, реалізовані через комп'ютерні системи керування процесом, що вже довгий час є ключовим інструментом у багатьох галузях промисловості. Такі системи автоматизації забезпечують точність, відтворюваність і ефективне використання обладнання на молочних заводах.

Система керування складається з механічних або електронних пристроїв, які регулюють роботу інших систем через контури керування. Для простих операцій контури забезпечують гнучке та адаптоване управління, тоді як складні процеси потребують більш вдосконаленої автоматизації. Одним із сучасних підходів є проектування та впровадження дискретних систем керування подіями, що дозволяють більш ефективно інтегрувати датчики та виконавчі механізми. Раніше використовувані автоматизаційні мережі Петрі не включали датчики та виконавчі механізми, але сучасні дослідження дозволили їх розширити з використанням імпульсних сигналів та сенсорів, що робить їх особливо придатними для багатопродуктових виробництв.

Документація є важливою частиною контролю: всі технологічні операції фіксуються і можуть бути відновлені щотижня, щомісяця чи щорічно. Це забезпечує ефективне виявлення першопричин у випадку проблем з якістю. Завдяки системам зворотного зв'язку датчики постійно передають інформацію системі керування, що дозволяє точно перевіряти сировину та коригувати змінні параметри процесу, забезпечуючи стабільну якість матеріалів для серійної обробки та мінімізуючи ризики помилок при ручному контролі.

Економічна оцінка технологій автоматизації є ключовим фактором для визначення їхньої доцільності та вигоди. Усунення витрат на робочу силу не означає автоматично великі початкові інвестиції, однак для ефективної роботи молочного виробництва слід враховувати загальну економічну вигоду. Вартість впровадження роботизованого доїння включає лише капітальні витрати на встановлення системи. Ціни на цю технологію за останні роки знизилися приблизно на 12–15%, тоді як витрати на робочу силу зросли на 12%.

Подібну автоматизацію можна реалізувати через повністю автоматизовані доїльні системи або поворотні зали з мінімальною автоматизацією. Капітальні витрати на повністю автоматизоване доїння становили 295 000 доларів США, а на поворотний зал — 125 000 доларів. Хоча спочатку такі інвестиції знижують рентабельність, зниження витрат на робочу силу з часом компенсує високі

капітальні витрати. Для отримання максимальних переваг важливе ефективне використання потужностей робота.

Автоматичне доїння дозволяє доїти корів тричі на день і збільшує виробництво молока приблизно на 12%. На результати також впливають інші фактори, зокрема вік та стан здоров'я дійних корів. Впровадження цієї технології підвищує не лише продуктивність ферми, а й її прибутковість у довгостроковій перспективі, роблячи автоматизацію стратегічно важливим інструментом для молочного виробництва.

10.5. Проблеми, пов'язані з автоматизацією молочного виробництва

Незважаючи на швидкий розвиток технологій та впровадження різноманітних біосенсорів для моніторингу процесів у молочній промисловості, їх використання інколи ускладнене. Наприклад, підготовка зразків для виявлення цільового патогена в складних харчових матрицях залишається проблемною. Більшість комерційних біосенсорів є економічно недоцільними, а електричні датчики не завжди придатні для онлайн-моніторингу стерилізованих продуктів, таких як УНТ-молоко або стерилізоване ароматизоване молоко, через склад біологічних матеріалів.

Повністю автоматизовані молочні підприємства відкривають великі можливості для працевлаштування кваліфікованих фахівців, проте зменшують потребу в некваліфікованій робочій силі. Хоча впровадження автоматизації є складним і дорогим процесом, воно здатне суттєво трансформувати молочну промисловість, підвищуючи ефективність, безпеку та якість продукції.

Харчова промисловість досі відстає від інших секторів у впровадженні технологій автоматизації через складність обробки продуктів зі змінною консистенцією та формою. Водночас стрімкий розвиток комп'ютерного обладнання та програмного забезпечення відкрив нові можливості для застосування автоматизації в харчовій та молочній промисловості, дозволяючи вирішувати різноманітні виробничі завдання. Проте на багатьох молочних

заводах ефективність сучасних технологій обмежена через складність їх впровадження та потребу в висококваліфікованих інженерах.

Проведення досліджень для спрощення використання автоматизації на рівні ферми є надзвичайно важливим. У цьому процесі ключову роль відіграють як молочна та харчова промисловість, так і університети, які сприяють поширенню передових знань і їх практичному застосуванню.

Сьогодні продовольча стійкість стикається з низкою безпрецедентних викликів, включно зі зміною клімату, пандеміями та політичною нестабільністю. Створення стійких продовольчих систем, впровадження інновацій та сучасних технологій є критично важливими для подолання цих проблем. Молочна промисловість є особливо вразливою до глобальних змін, водночас вона значно впливає на навколишнє середовище через викиди парникових газів, що робить її одним із ключових секторів для впровадження інновацій та стійких технологій.

Молочні продукти є важливим джерелом поживних та функціональних сполук, тому контроль критичних умов обробки для забезпечення їх високої якості та безпеки є надзвичайно важливим. Водночас виробники постійно шукають стійкі та інноваційні технології обробки, щоб підвищити ефективність і конкурентоспроможність у цьому динамічному секторі.

Суб'єкти молочної промисловості активно впроваджують новітні технології та автоматизацію у рамках четвертої промислової революції (Індустрія 4.0). Основними її елементами у харчовому секторі є штучний інтелект (AI), робототехніка, розумні датчики, 3D-друк, Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), хмарні технології, блокчейн, доповнена реальність, кібербезпека, цифрові двійники та кіберфізичні системи.

У сільському господарстві застосування таких технологій відоме як «розумне» або точне землеробство, а харчові заводи, які впроваджують ці передові рішення, часто називають «розумними фабриками», що забезпечує більш ефективне управління виробництвом і підвищення якості кінцевого продукту.

Ланцюг постачання молочної продукції все більше використовує автоматизацію та цифрові технології. Застосування технологій Індустрії 4.0 у молочному секторі називають «Молочна промисловість 4.0 – Dairy 4.0». Огляд літератури показав, що робототехніка, 3D-друк, штучний інтелект, Інтернет речей, BD і блокчейн є ключовими словами, які найчастіше використовуються в опублікованих дослідженнях, пов'язаних із технологіями Індустрії 4.0 та їх застосуванням у молочному секторі

Було визначено шість технологій Індустрії 4.0, які вважаються основними чинниками Dairy 4.0.

Робототехніка. Робототехніка – це міждисциплінарна та мультидисциплінарна галузь, яка поєднує передові системи, пов'язані з механічним, електричним та електронним обладнанням і програмним забезпеченням. Використання робототехніки в харчовій промисловості може варіюватися від простих повторюваних завдань до складних процесів. Технологія робототехніки вже давно використовується в багатьох виробничих секторах, наприклад, в автомобільній промисловості, але потенційні можливості застосування робототехніки в молочній промисловості досліджуються.

3D-друк – технологія тривимірного (3D) друку (або адитивне виробництво) нещодавно з'явилася як багатообіцяюча інновація, яка використовує цифрові дані для створення різних типів твердих і напівтвердих харчових продуктів. За останні кілька років застосування 3D-друку викликало величезний інтерес у багатьох харчових секторах. Спостерігається стрімке зростання наукової роботи, присвяченої 3D-друку молочних продуктів. Молочні продукти та інгредієнти складаються з різних компонентів, функцій і структур, що робить їх дуже складним, але в той же час дуже перспективним джерелом сировини для 3D-друку їжі.

Великі дані (BD) – Big Data (BD) у молочній промисловості охоплює величезні та складні набори даних, які традиційні методи обробки не можуть ефективно аналізувати. За допомогою Big Data Analytics (BDA) ці дані обробляються сучасними аналітичними інструментами для підтримки різних

напрямів роботи: контролю виробництва молока та його якості, управління фермою, моніторингу стада в реальному часі, прийняття оперативних рішень, оцінки здоров'я тварин і забезпечення стійкості ланцюга поставок. Використання BD/BDA дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів, покращити якість продукції та оптимізувати ресурси, одночасно забезпечуючи контроль і прозорість на всіх етапах молочної промисловості.

Інтернет речей (IoT) – IoT – це система, яка з'єднує пристрої через мережу, що дозволяє обмінюватися даними. IoT має потенціал для створення інтелектуального середовища потужних інструментів у багатьох галузях сільського господарства та тваринництва, що дозволяє створювати, змінювати та обмінюватися інформацією. Інтернет речей все частіше використовується на молочних заводах для збору точних даних у реальному часі та обміну ними з фермером або іншими зацікавленими сторонами.

Штучний інтелект (ШІ) – це обчислювальна технологія, яка використовується для імітації здатності людини сприймати навколишнє середовище, навчатися та приймати рішення. У харчовому секторі технології ШІ відіграють ключову роль в автоматизації інтелектуального землеробства та харчової промисловості та можуть допомогти прискорити перехід до стійких харчових систем. Як правило, технології на основі штучного інтелекту можна використовувати для моніторингу в режимі реального часу та процесу прийняття рішень.

Блокчейн – блокчейн є одним із ключових елементів Індустрії 4.0 і може забезпечити більш надійну та ефективну інфраструктуру управління ланцюгом поставок у харчовій та молочній промисловості. Це криптографічно захищені розподілені книги, що зберігаються у одноранговому форматі між учасниками ланцюга, що робить систему децентралізованою та стійкою до єдиних точок відмови, невідповідності продукту, втрати даних і порушень якості, характерних для традиційних ланцюгів постачання. Використання блокчейну разом із технологіями IoT дозволяє інтегрувати дані, підвищити прозорість, перевіряність, цілісність та автентичність продукту, одночасно знижуючи

витрати. Крім відстеження, блокчейн-рішення можуть гарантувати збереження поживної цінності молочних продуктів і підвищувати безпеку для споживачів, включаючи вразливі верстви населення.

1.6. Робототехніка

Робототехніка нещодавно була охоплена молочним сектором, де вона має кілька застосувань.

Робототехніка – прикладна наука, що опікується проектуванням, розробкою, виготовленням та використанням роботів, а також комп'ютерних систем для керування ними, сенсорного (на основі вихідних сигналів давачів) зворотного зв'язку і обробки інформації автоматизованих технічних систем (роботів).

Наприклад, автоматичні системи доїння є одним із найуспішніших застосувань робототехніки в молочній промисловості. Ця система забезпечує суттєве середнє збільшення частоти доїння і, отже, збільшення виробництва молока, зменшуючи при цьому трудовитрати. Додатковими визначеними перевагами систем автоматичного доїння є підвищення загальної продуктивності, прибутковості та стійкості. Іншим застосуванням робототехніки на молочних фермах є прибирання підлоги, що допомагає зменшити ризики щодо добробуту корів і уникнути викидів аміаку.

Крім того, датчики, інтегровані в робототехнічні системи, забезпечують безперервний збір точних даних у режимі реального часу. Ця інформація може використовуватися для прогнозування ключових виробничих показників, зокрема добового надою, складу молока та частоти доїння, що сприяє оптимізації управління стадом і підвищенню ефективності ферми. Зокрема, було розроблено структуру машинного навчання на основі даних роботизованої молочної ферми, яка дозволяє моделювати та передбачати ці параметри з урахуванням індивідуальних особливостей тварин, їх фізіологічного стану та умов утримання, що відкриває можливості для більш точного прийняття рішень і раннього виявлення відхилень у продуктивності або здоров'ї корів.

Важливим питанням для молочних фермерів при впровадженні роботизованих систем доїння є їхній вплив на якість молока. Дослідження показали, що молоко з роботизованих ферм може відрізнятися за складом і ферментативною активністю: спостерігається нижчий вміст білка, казеїну, плазміну та плазміногену, але вищий рівень соматичних клітин і загальний протеоліз, що свідчить про вплив системи управління на властивості продукту. Важливим чинником також є тепловий стрес, який при високій температурі та вологості знижує активність корів і ефективність доїння. Проте продуктивність роботизованих систем можна покращити простими заходами охолодження тварин (тінь, вода). Окрім технологічних переваг, такі системи полегшують працю фермерів, зменшують стрес і підвищують стійкість виробництва.

Попри численні переваги, розроблення та впровадження роботизованих систем у молочному скотарстві залишається складним процесом, що потребує комплексного підходу. Для стимулювання їх ширшого використання запропоновано спеціальну концептуальну рамку, яка допомагає оцінити ключові аспекти майбутніх інновацій у цій сфері. Вона передбачає врахування впливу роботизації на організацію праці, зміну ролей і навичок працівників, їхній добробут і безпеку, а також трансформацію традиційних систем ведення господарства. Окрім цього, важливими залишаються ринкові чинники, економічна доцільність і нормативно-правові обмеження, які можуть як стимулювати, так і стримувати впровадження нових технологій.

10.7. 3D друк

Останніми роками 3D-друк харчових продуктів на основі молочної сировини стрімко привертає увагу як науковців, так і виробників харчової продукції. У молочній галузі цю технологію розглядають у межах п'яти ключових напрямів: футуристичного (створення інноваційних форм і текстур, нових форматів споживання), креативного (персоналізований дизайн продуктів і гастрономічна естетика), здорового (розробка функціональних і персоналізованих за складом продуктів), ефективного (оптимізація

використання сировини, автоматизація процесів) та стійкого (зменшення відходів, раціональне використання ресурсів і підтримка принципів сталого розвитку). Таким чином, 3D-друк поступово переходить із експериментальної технології в перспективний інструмент трансформації молочного виробництва.

Адитивні технології або 3D-друк – одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі.

Дослідження показали, що суміш сухої молочної пасти, приготована з концентрату молочного білка та ізоляту сироваткового білка у певному співвідношенні, є оптимальним матеріалом для 3D-друку методом екструзії. Додаткові експерименти продемонстрували, що гель молочного білка забезпечує найкращу продуктивність друку, високу точність відтворення моделі та стабільність форми. Також вивчався вплив гідроколоїдів на мікроструктуру, в'язкопружні властивості та ефективність 3D-друку концентрату молочного білка, що дозволяє краще контролювати текстуру і якість надрукованих виробів.

Дослідники активно використовують 3D-друк для створення нових харчових продуктів на основі білків: зокрема, розроблено гелеві матеріали зі соєвого білка та глютену з термочутливим какао-маслом для виготовлення м'ясних аналогів. Застосовуються також емульсії Пікерінга на основі казеїну зі зниженим вмістом жиру для виробництва функціональних продуктів, включно з використанням мікробіосурфактантів. Досліджуються суспензії казеїну і сироваткового білка з молочним жиром, оброблені рН- та температурними методами, а також гелеутворення білків сичужним ферментом для формування структур на 3D-принтері. Крім того, створюються функціоналізовані йогурти на хлібі з біоактивними інгредієнтами, а також методи інтеграції біоактивного паперу з 3D-друком для швидкого визначення лактози в молоці, що відкриває нові можливості для інновацій у харчовій промисловості.

Було розроблено метод прямого «написання чорнилом» для 3D-друку молочних продуктів за кімнатної температури, який базується на регулюванні

реологічних властивостей друкарської пасти. Для цього використовували плавлений сир як матеріал для друку, експериментуючи як з низькою, так і з високою швидкістю екструзії, що дозволяє точно контролювати форму та текстуру надрукованого продукту.

10.8. Великі дані

Важливим застосуванням BD/BDA є покращення прийняття рішень на фермі, прогнозування надоїв молока, покращення якості молока та управління молочними фермами.

Великі дані (англ. Big Data) в інформаційних технологіях – набори інформації (як структурованої, так і неструктурованої) настільки великих розмірів, що традиційні способи та підходи (здебільшого засновані на рішеннях класу бізнесової аналітики та системах управління базами даних) не можуть бути застосовані до них.

У цьому контексті було представлено Інструмент прогнозування та аналізу надоїв (PAT), економічно ефективний інструмент, який використовує Big Data Analytics (BDA) для точного прогнозування надоїв як на рівні окремої корови, так і на рівні групи, підкреслюючи важливість прийняття рішень на основі даних навіть для дрібних виробників молока. Інші дослідження показують застосування технологій 5G+IoT, інтелектуальної аналітики та штучного інтелекту для інтелектуального управління молочними пасовищами, включно з ідентифікацією окремих корів і точним годуванням, що підвищує економічну ефективність ферми. Використання технології розпізнавання зображень дозволяє оптимізувати виробництво та управління стадом, тоді як підхід THI-BD, що поєднує індекс температурної вологості та аналіз великих даних, демонструє вплив теплового стресу на зниження виробництва молока та необхідність стратегій його пом'якшення. Також досліджено вплив відгону на продуктивність великої рогатої худоби з використанням моделей, які враховують екологічні, фізіологічні та морфологічні фактори. Крім того, застосування BD у переробці сухого молока дозволяє підвищити якість продукції

та зменшити обсяг продуктів, що не відповідають специфікаціям. Загалом, перехід до використання великих даних на фермах підкреслює важливість комплексного підходу, де дані застосовуються не лише для короткострокових рішень, але й для стратегічного управління та підвищення ефективності молочних господарств.

Інтеграція BD/BDA у молочне скотарство продемонструвала великий потенціал для покращення здоров'я та продуктивності тварин і, зрештою, підвищення прибутковості молочних ферм завдяки стратегічному управлінню. Наприклад, було представлено механізм прийняття рішень (The Dairy Brain), який об'єднує точне землеробство, BDA та IoT. Система збирає, інтегрує, обробляє та аналізує дані на фермі та за її межами в режимі реального часу, щоб забезпечити практичне застосування, наприклад групування поживних речовин, раннє виявлення ризику клінічного маститу та прогнозування початку клінічного маститу. Результати показують, що система має потенціал для зменшення витрат на харчування та покращення моніторингу здоров'я. Оцінка здоров'я тварин є важливою областю досліджень для використання BD. Оцінка глобального здоров'я тварин є складним завданням через його багатогранність, і дослідники, як правило, зосереджуються на виявленні окремих захворювань. У цьому контексті запропоновано підхід до оцінки загального стану здоров'я молочних корів за допомогою BD із записів про молоко, включаючи надой молока, кількість соматичних клітин і прогнози на основі середнього інфрачервоного випромінювання (FT-MIR), пов'язані зі складом молока та станом здоров'я тварин. Результати свідчать про те, що отримані кількісні ознаки опосередковано відображають деякі з основних розладів здоров'я в молочному скотарстві та можуть бути використані для моніторингу молочних корів у великих масштабах. В іншому дослідженні, обговорили проблеми, з якими стикаються молочні ферми при виявленні гіперкетонемії (НУК), метаболічного розладу, що вражає корів під час переходу до лактації. Результати свідчать про те, що зростаючі потоки даних, доступні для ферм, такі як виробництво та склад

молока, записи про корів та геноміка, можуть бути використані для моніторингу настання післяпологового НУК за допомогою підходу BD.

Технології BD також можна використовувати для покращення управління ланцюгом поставок. Однак існує кілька потенційних перешкод, які необхідно усунути для їх успішного впровадження. У цьому контексті, визначено економічну перешкоду як найважливішу перешкоду циклічності в ланцюгах постачання молочної продукції, за якою слідує технологічні та екологічні перешкоди. Встановлено, що оптимізація є найважливішим рішенням BD для подолання цих бар'єрів, за яким йдуть інтелектуальний аналіз даних і машинне навчання. Дослідники дійшли висновку, що повний потенціал BD у точному молочному скотарстві ще не реалізований і що для прийняття рішень необхідно використовувати численні характеристики та джерела BD.

10.8. Інтернет речей

Існує багато типів даних, які IoT може збирати та обмінюватися, наприклад, температура, частота серцевих скорочень і рух корів, які надають інформацію про здоров'я, положення та поведінку корів, наприклад, стояння, лежання, їжа або ознаки тічки. Ці дані можуть допомогти фермерам приймати більш обґрунтовані рішення, наприклад, щодо здоров'я корів, годівлі та частоти доїння.

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані давачі, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами в автоматичному режимі, за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку. Окрім давачів, мережа може мати виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об'єкти і пов'язані між собою через дротові чи бездротові мережі.

IoT має великий потенціал для збору та обміну реальними даними з молокозаводів. Насправді нещодавні дослідження запропонували

використовувати IoT для автоматизації годівлі корів, щоб можна було розробити плани харчування для кожної корови та зробити більш точний прогноз виробництва молока. Для кожної корови також запропонували недороге рішення IoT для моніторингу якості молока. З іншого боку, використано IoT для моніторингу даних про температуру та серцевий ритм корів, що надає інформацію про здоров'я корів і дозволяє діагностувати захворювання та визначити найбільш адекватний метод лікування та профілактики.

Потенціал IoT поширюється не тільки на ферму, але й на весь ланцюжок постачання молочної продукції. Є кілька прикладів використання IoT для оптимізації логістики молочних продуктів. У молочній промисловості логістика є важливим аспектом через високу швидкопсувність молочних продуктів і необхідність розподілу цих продуктів у всіх населених пунктах.

Нарешті, IoT також може допомогти виміряти значення різних змінних, які впливають на якість свіжого молока, таких як рН, температура, запах, каламутність, колір, жирність, смак і наявність добавок. Це допомагає класифікувати молоко за його якістю і таким чином визначити його оптимальну ціну.

10.9. Штучний інтелект

Штучний інтелект (ШІ) в основному використовувався для оцінки здоров'я та благополуччя молочних корів. Це пояснюється значною потребою молочної промисловості в надійній, автоматизованій і недорогій технології для аналізу поведінки дійних корів. Штучний інтелект може отримувати дані з різних наразі недостатньо використовуваних джерел, щоб спростити повторювані та складні завдання прийняття рішень у молочному скотарстві. ШІ вибирає оптимальне лікування корів на основі впливу фізіологічних факторів і факторів навколишнього середовища для найкращої якості молока та виробництва. Інші застосування штучного інтелекту в Dairy 4.0 включають споживчий попит, якість їжі та методи молочного скотарства.

Прогнозування попиту є дуже важливим у молочній промисловості, оскільки більшість продуктів мають короткий термін зберігання. Впровадження штучного інтелекту було використано для розрахунку ризику портфеля продуктів і для прогнозування попиту із застосуванням до молочної промисловості Ірану.

Якість харчових продуктів стає дедалі важливішою для споживачів, проте існує обмежена кількість інструментів для її контролю, і традиційні лабораторні методи часто не можуть адекватно виявляти різні загрози цілісності продуктів. Для вирішення цієї проблеми запропоновано використання звукових вібрацій у поєднанні зі штучним інтелектом, що дозволяє виявляти фальсифікації та перевіряти якість продуктів. Крім того, розроблено процеси оптимізації на основі ІІІ для покращення сенсорних характеристик харчових продуктів. Для оцінки якості сиру під час дозрівання застосовують методи комп'ютерного зору та машинного навчання. Оскільки хвилі спеки та зміни клімату викликають стрес у сільськогосподарських тварин, запропоновано системи на основі ІІІ, що допомагають підтримувати або підвищувати якість молока шляхом зменшення впливу теплового стресу на корів.

Існує постійний тиск на фермерів щодо збільшення розмірів стада при одночасному зниженні витрат на утримання та забезпеченні добробуту тварин, де методи штучного інтелекту можуть надати значну підтримку. ІІІ активно застосовується для прогнозування виробництва та якості молока, використовуючи технології комп'ютерного бачення для оцінки фізіологічних показників корів, таких як частота серцевих скорочень, частота дихання та активність. Крім того, штучний інтелект може аналізувати аерофотознімки пасовищ та ферм, щоб оцінити викиди метану, визначати оптимальний розмір стада та ефективно управляти кормовими ресурсами. Такі підходи дозволяють підвищити продуктивність молочного виробництва, зменшити витрати, забезпечити добробут тварин і мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище, одночасно підвищуючи стійкість та економічну ефективність фермерських господарств.

10.10. Блокчейн

Блокчейн може бути використаний для створення інтелектуальних екосистем у ланцюгах постачання молока, що дозволяє забезпечити прозорість, відстежуваність та ефективність на кожному етапі процесу. Завдяки цьому технологія допомагає задовольнити зростаючий світовий попит на харчові продукти в стійкий і безпечний спосіб, забезпечуючи надійність постачання, зниження втрат та покращення якості молочної продукції для споживачів.

Блокчейн від block – блок, chain – ланцюг, тобто ланцюжок блоків) – розподілена база даних, що зберігає впорядкований ланцюжок записів (так званих блоків), який постійно довшає.

Було запропоновано рішення для відстеження на основі блокчейну, спрямоване на зменшення впливу на навколишнє середовище та скорочення витрат на транзакції, застосоване до ланцюга постачання сиру Fontina. Дослідження суспільного впливу блокчейну на ланцюги постачання молока в Туреччині показало кілька значущих переваг, включаючи запобігання шахрайству з харчовими продуктами, підтримку розвитку сільських районів, покращення здоров'я та добробуту тварин, а також сприяння виробництву здорової їжі і забезпеченню продовольчої безпеки.

Запропоновано блокчейн-рішення для управління ланцюгом поставок молочної продукції, що забезпечує безпеку даних, незмінність інформації про транспортування та можливість відстеження від ферми до споживача. Система підтверджує відповідність нормативам для державних органів і клієнтів. Додатково запропонована екосистема на основі блокчейну з розумними контрактами і краудфандингом забезпечує свіжі та безпечні молочні продукти за справедливими цінами.

Краудфандинг, громадське фінансування або спільнокошт – це співпраця людей, які добровільно об'єднують свої гроші чи інші ресурси разом, як правило через Інтернет, аби підтримати зусилля інших людей або організацій.

10.11. Поточні виклики та перспективи на майбутнє

Існує кілька проблем, які галузь має подолати для повного використання переваг технологій Індустрії 4.0. Однією з ключових є територіальне розташування: відсутність цифрової інфраструктури та стабільного зв'язку в багатьох сільських районах, де розташовані молочні ферми, обмежує доступ фермерів до нових технологій, таких як системи точного землеробства та автоматизоване доїння. Другою проблемою є висока вартість впровадження інновацій, особливо для малих і середніх молочних ферм із обмеженими фінансовими ресурсами. Це може посилити цифровий розрив між великими та меншими фермами, надаючи першим значну конкурентну перевагу завдяки їхній здатності інвестувати в сучасні технології.

Іншим важливим викликом є потреба у кваліфікованих кадрах для впровадження та обслуговування нових технологій. Компанії, що планують інтегрувати інновації, повинні мати підготовлений персонал та забезпечити необхідні інструменти й обладнання для навчання. Для малих ферм це часто стає проблемою, адже знайти або підготувати фахівців може бути складно. Крім того, із зростанням використання підключених пристроїв та аналітики даних у молочній промисловості постають питання конфіденційності та кібербезпеки, оскільки існує ризик компрометації чутливої інформації.

Нарешті, для успішного впровадження технологій Індустрії 4.0 у молочній промисловості необхідна тісніша співпраця та координація між усіма учасниками ланцюга постачання, що дозволяє ефективно інтегрувати нові технології в існуючі системи та забезпечити їхню взаємодію.

Підсумовуючи, незважаючи на значні переваги технологічного прогресу та цифровізації для молочного бізнесу, існує низка бар'єрів, які потрібно подолати для повного використання цих можливостей. Серед них – обмежена цифрова інфраструктура та нестабільне підключення, високі витрати на впровадження нових технологій, потреба в кваліфікованих кадрах і необхідність посиленої співпраці між учасниками ланцюга постачання. Усунення цих труднощів є

ключовим для того, щоб молочний сектор залишався конкурентоспроможним, стійким і здатним максимально ефективно застосовувати інновації у майбутньому.

10.12. Роботи для виробництва молока і молочних продуктів

10.12.1. Подолання розриву між традиціями та новітніми технологіями

Як і багато сусідніх сегментів ринку, молочна промисловість стикається зі значними проблемами, такими як нестача робочої сили, контроль якості та зростання світового попиту. Щоб вирішити ці проблеми та підвищити ефективність, промисловість рухається до більш автоматизованого процесу виробництва.

Доїння з автоматикою. Автоматизовані доїльні системи (AMS) трансформують традиційний процес доїння, забезпечуючи безконтактний підхід, що приносить користь як молочним коровам, так і працівникам ферми. Впровадження AMS дозволяє частіше доїти корів, що підвищує надої та підтримує добробут тварин, імітуючи природний ритм доїння. Працівники виграють завдяки зменшенню фізичного навантаження та можливості приділяти більше часу іншим завданням, підвищуючи загальну ефективність ферми. Серед основних недоліків – високі початкові витрати на встановлення системи та період адаптації для персоналу і тварин до нової технології.

Автоматизовані системи годівлі. Впровадження робототехніки в процедуру годівлі гарантує, що молочне стадо отримує збалансований і точний раціон, адаптований до харчових потреб кожної тварини. Такий цілеспрямований підхід до годівлі може покращити здоров'я тварин і збільшити виробництво молока. Це також мінімізує відходи завдяки точному розподілу правильної кількості корму, сприяючи економії коштів з часом. Знову ж таки, головні проблеми полягають у початкових витратах на придбання та встановлення цих систем і необхідності постійного обслуговування для забезпечення їхньої постійної надійності та ефективності.

Моніторинг здоров'я та репродукції. Роботизовані системи, оснащені передовими датчиками, пропонують проактивний підхід до моніторингу здоров'я та благополуччя молочного стада. Ці системи можуть виявляти ранні ознаки хвороби або дистресу, дозволяючи своєчасно втручатися, щоб запобігти переростанню незначних проблем у серйозну кризу здоров'я. Ці системи допомагають підтримувати здорове стадо та зменшують залежність від ветеринарної допомоги та мінімізують витрати, пов'язані з нею. Однак інтеграція цих технологій вимагає доступу до складних інструментів аналізу даних і може ускладнити практику управління фермами, тому важливо мати необхідний досвід, щоб правильно використовувати ці системи.

Роботизоване прибирання для гігієни. Автоматизовані роботи-прибиральники необхідні для підтримки високих стандартів гігієни на підприємствах з виробництва молока. Ці роботи можуть виконувати завдання очищення більш послідовно й ретельно, ніж ручні методи, знижуючи ризик бактеріального зараження та забезпечуючи якість і безпеку молочних продуктів. Однак адаптація цих систем очищення до різних макетів ферм може бути складною, і також потрібен постійний нагляд, щоб переконатися, що роботи працюють ефективно в міру зміни потреб на фермі.

Автоматизація розливу та складування. Окрім ферми, робототехніка також відіграє вирішальну роль на етапах розливу та складування молочного виробництва. Автоматичні лінії розливу підвищують ефективність, точність і швидкість пакування молочних продуктів, забезпечуючи безпечну та гігієнічну обробку продуктів. У складських операціях роботизовані системи покращують процеси управління запасами та виконання замовлень, зменшуючи людські помилки та підвищуючи загальну швидкість розподілу. Однак, незважаючи на те, що ці системи значно підвищують ефективність роботи, вони вимагають значних капіталовкладень і кваліфікованого персоналу для експлуатації та обслуговування.

Інтеграція робототехніки в усі види молочного виробництва забезпечує відчутні переваги, від підвищення ефективності та продуктивності до

покращення добробуту тварин і якості продукції. Однак перехід до більш автоматизованої роботи передбачає ретельний аналіз початкових витрат, технічних проблем і потреби у спеціальних навичках, щоб гарантувати максимальний прибуток від ваших інвестицій.

10.12.2. Типи роботів та їх вплив на виробництво молока

Оскільки молочна промисловість налаштована на автоматизацію, з'явилися різні типи роботів, кожен з яких має різні можливості, сильні сторони та обмеження. Розуміння цих відмінностей має вирішальне значення для прийняття обґрунтованих рішень щодо інтеграції робототехніки в молочну діяльність.

Шарнірні роботизовані руки, які широко використовуються в розливі та пакуванні, забезпечують виняткову точність і гнучкість. Здатність імітувати рухи рук людини робить їх ідеальними для завдань, що вимагають високого рівня спритності, наприклад підбору та розміщення предметів на складальних лініях. Головною перевагою цих роботів є їх універсальність, оскільки їх можна адаптувати до широкого кола завдань з мінімальними налаштуваннями. 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.

Види роботизованих рук. Термін «роботизована рука» охоплює різноманітні типи роботизованих механізмів, які зазвичай працюють за схожими програмами, але відрізняються конструкцією та спеціалізацією для конкретних завдань. До основних типів належать: шарнірна рука, шестиосьовий робот, колаборативний робот, SCARA, декартовий (картезіанський), циліндричний, сферичний/полярний, паралельний/дельта та антропоморфний. Кожен із них оптимізований для певних операцій залежно від потреб виробництва.

Шарнірні манжети – це роботизовані пристрої загального призначення з п'ятьма або більше ступенями свободи, що дозволяють здійснювати складні

рухи. Термін «шарнірна рука» охоплює багато типів роботів, наприклад шестиосьовий робот має шість ступенів свободи. Завдяки своїй універсальності такі роботи широко використовуються в промисловості, включаючи молочне виробництво, і включають як шестиосьові, так і колаборативні моделі.

Шестиосьові роботи є найпоширенішим типом шарнірної руки і, відповідно, одними з найпоширеніших роботизованих рук у промисловості сьогодні. Завдяки своїй гнучкості вони відмінно підходять як універсальні роботи для різноманітних завдань. При цьому шестиосьовий робот вважається найпростішим промисловим роботизованим механізмом у порівнянні з іншими типами.

Колаборативний робот – це спеціально розроблена роботизована рука для роботи поруч із людьми в гібридних робочих середовищах. Вбудовані функції безпеки значно знижують ризики взаємодії люди–машина. Хоча це відносно новий тип роботів і їхнє використання ще вивчається, вони поступово набирають популярності в промисловості, оскільки виробники все частіше оцінюють їхні переваги. Майбутнє колаборативної робототехніки обіцяє широкі можливості для безпечної та ефективної співпраці. Гібридні робочі середовища є дуже перспективними в сучасному світі.

Роботи SCARA мають обмежену сумісність із роботом загального призначення, оскільки вони не такі гнучкі, як шарнірні руки. Хоча це накладає певні обмеження на їх використання, водночас надає їм специфічні переваги, зокрема в точності та швидкості виконання завдань у певних напрямках руху.

Декартові роботи – це жорсткі системи, які рухаються в тривимірній координатній площині. Ці роботи зазвичай складаються з 3 лінійних приводів. Один виконавчий механізм рухається вліво і вправо по осі x . До актуатора осі X приєднаний додатковий актуатор. Цей привід рухається вгору і вниз у площині осі Y . Остаточний привід прикріплений до елемента осі y і рухається вперед і назад у площині осі z . Декартові роботи призначені для невеликих застосувань.

Циліндричні руки робота розроблені навколо однієї руки, яка рухається вгору та вниз по вертикальному елементу. Цей вертикальний елемент повертає

руку горизонтально. Рука може розгинатися і відводитися для виконання свого завдання. Ці роботи дуже компактні та призначені для невеликих і простих завдань.

Першим сучасним промисловим роботом був **сферичний** (полярний) робот. Цей тип робота має просту конструкцію, яка сьогодні не така поширена, як колись. Сферичні роботи подібні до циліндричних, за винятком того, що вони замінюють вертикальну лінійну вісь додатковою віссю обертання. Ця вісь дозволяє йому обертатися вертикально. Його розроблено для простих завдань, які не вимагають високої швидкості чи складних рухів.

Роботи Parallel/Delta – це високошвидкісні варіанти роботизованої автоматизації. Унікальний дизайн цих роботів дозволяє їм досягати неймовірної швидкості. Робот Delta – чудовий вибір для високошвидкісних і легких завдань.

Антропоморфні роботи – рідкість у промислових умовах. Ці роботи мають дві або більше рук і привітне обличчя. Вони часто розгортаються в середовищах спільної роботи, де працюють у безпосередній близькості від людей-операторів.

Універсальний характер роботизованих рук дозволяє їм бути чудовим вибором для багатьох застосувань незалежно від галузі. Вони забезпечують хороший баланс між швидкістю, вантажопідйомністю, радіусом дії та точністю. Це дозволяє їм ефективно виконувати багато завдань. Ці функції також надають виробникам гнучкість для перепрофілювання цих роботів у різних додатках поза їх початковим задумом. Це може бути складніше для інших типів роботів. Гнучкість, яку надають роботизовані руки, безсумнівно, є значною перевагою для цього типу роботів.

Мобільні роботи трансформують такі операції, як управління складом, моніторинг здоров'я тварин і прибирання приміщень. Завдяки датчикам та навігаційним системам вони здатні автономно пересуватися по фермі, виконуючи завдання, наприклад, видалення шламу. Така автономність забезпечує безперервну роботу та підвищує продуктивність і ефективність процесів. Головним обмеженням мобільних роботів є їхня потреба у стабільному

середовищі без перешкод для точної навігації, що може вимагати змін у плануванні та організації ферми.

Більшість промислових мобільних роботів – це транспортні засоби, які покладаються на колеса для пересування. Хоча є людиноподібні роботи, які ходять на двох ногах, вони більш складні та дорогі. Як правило, мобільні роботи з колесами є більш економічно ефективними. Вони також більш міцні.

Автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV) проти автономних мобільних роботів (AMR). Автоматизовані керовані транспортні засоби є старішою технологією, ніж AMR. AGV спирається на напрямні, розміщені на підлозі. Гіди показують AGV, яким маршрутом їхати. AGV дозволяється рухатися всередині коридору, визначеного путівниками. Для визначення коридорів, по яких може рухатися AGV, використовуються магнітні смуги, а також дроти та лінії. Якщо AGV стикається з перешкодою на своєму шляху, він зупиняється і кличе на допомогу. Автономні мобільні роботи більш гнучкі, ніж AGV. AMR складають карту об'єкта та зберігають її у своїй пам'яті. Таким чином, їм не потрібні провідники на підлозі, щоб вказувати їм, куди йти. Коли AMR отримує пункт призначення, він може вибрати найкращий маршрут до нього. Якщо на їхньому шляху є перешкода, вони можуть її обійти. Вони також можуть скористатися альтернативним маршрутом. Тим не менш, відмінності між AGV і AMR стають розмитими. Зараз є деякі AGV, які можуть повертати, наприклад, щоб уникнути перешкод.

Колісний AMR з роботизованою рукою. Шарнірну руку робота можна встановити на AMR. Це розширює спектр його використання. Наприклад, догляд за машинами може виграти від цієї комбінації технологій. Для транспортування матеріалів рука робота робить доставку посилок більш гнучкою.

Окрім наведених вище стандартизованих роботизованих рішень, доступні індивідуальні рішення автоматизації для конкретних молочних продуктів, таких як: індивідуальні рішення для годування; доїльні системи; розширені системи моніторингу.

Ці програми є надзвичайно спеціалізованими для молочної промисловості та потребують індивідуальних рішень. Такі автоматизовані системи оптимізовані саме під ті завдання, для яких їх створено, тому вони демонструють високу ефективність у цих конкретних операціях. Водночас вони не підходять для інших типів робіт, наприклад, для складських операцій або прибирання.

Вибір роботів залежить від конкретних потреб молочного заводу, включаючи завдання, які потрібно автоматизувати, наявну інфраструктуру та бюджет, доступний для технологічних інвестицій.

Ринок автоматизації молочної промисловості продемонстрував значне зростання, оцінений у 1,99 мільярда доларів США в 2023 році. Очікується, що він досягне 3,16 мільярда доларів США до 2030 року, зазнаючи середньорічного темпу зростання приблизно на 6,8% з 2024 по 2030 рік. Це значне зростання показує все більше впровадження технологій автоматизації в молочній промисловості, зумовлене потребою в ефективності, продуктивності та стійкості. Позитивна тенденція вказує на надійне майбутнє автоматизації молочної промисловості, пропонуючи значні можливості для працівників галузі впроваджувати інновації та використовувати досягнення в робототехніці та технологіях автоматизації.

1.12.3. 6-осьові та промислові роботи

Поява Індустрії 4.0 і пов'язаний з нею розвиток автоматизації мали вирішальний вплив на промисловий сектор і його застосування. Щоб передбачити потреби промисловості, розроблено унікальну лінійку промислових роботів, які пропонують безліч переваг: компактні розміри, широкий діапазон роботи, високу швидкість, точність, здатність витримувати будь-які типи середовищ і, перш за все, гнучкість для адаптації до широкого спектру завдань. У якості прикладу наведено 6-осьові шарнірні роботи TX2 та роботи TS2 SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arms) компанії Stäubli Німеччина (рис. 54).



Рис. 54. Стандартні роботи [57]

6-осьові шарнірні роботи TX2 забезпечують підвищену гнучкість і спритність, що дозволяє максимально ефективно використовувати робочий простір у виробничій клітині. Ці роботизовані руки ідеально підходять для виконання широкого спектру операцій, таких як транспортування, догляд за машинами, складання, тестування, пакування, наповнення, різання, миття, видалення задирок і полірування. Їхній універсальний контролер CS9 оснащено додатковими функціями безпеки SIL 3/PL e, що забезпечує високий рівень продуктивності та безпечну співпрацю людини і машини.

Роботи TS2 SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arms) мають ту ж структурну конфігурацію сегментів, що й 6-осьові роботи TX2, що забезпечує однаковий робочий слід і дозволяє досягти високої модульності та скорочення часу на розробку виробничих рішень. Вони оснащені тим самим контролером CS9, який забезпечує стабільне керування та інтеграцію з іншими роботизованими системами. TS2 SCARA здатні виконувати широкий спектр точних і повторюваних завдань на високих швидкостях, таких як завантаження і розвантаження матеріалів, складання компонентів, пакування продукції, палетування, сортування, підбір і розміщення предметів, а також обробка, укладання та розміщення у виробничому циклі. Завдяки поєднанню швидкості, точності та стабільності вони ефективно використовуються у промислових і

молочних виробничих процесах, де важлива оптимізація часу та забезпечення високої продуктивності при повторюваних операціях.

Палетування вантажу — це розміщення вантажу в спеціальні дерев'яні піддони. Цей спосіб забезпечує максимально компактне і надійне розміщення вантажу у вантажному відсіку. Паралельно з палетуванням вантажів здійснюється його стрейчування — обмотка вантажу стрейч-плівкою.

Особливу увагу привертають роботизовані технологічні лінії виробництва твердого та свіжого сиру, вони наглядні і дають уявлення про те, як працюють роботи в таких технологіях.

Лінія виробництва твердого сиру. Процес починається з того, що TX2-200 HE піднімає сирні блоки з піддону та покладає їх на конвеєрну стрічку. Потім TX2-160 HE розпаковує сирний блок і знімає фольгу. Після розрізання блоку другий TX2-160 HE розміщує половини блоків на двох паралельних стрічках. Далі TX2-140 HE розділяє їх на порції ультразвуковим ножом. Має місце повністю автоматична станція різання. TX2-90 HE виконує первинне пакування порцій твердого сиру. За вторинну упаковку відповідають два TS2-100 HE. Нарешті, TX2-200 укладає заповнені та запечатані коробки на піддони. Автономний штабелеукладач із противагою від Stäubli WFT доставляє піддони на склад або безпосередньо до відділу відвантаження.

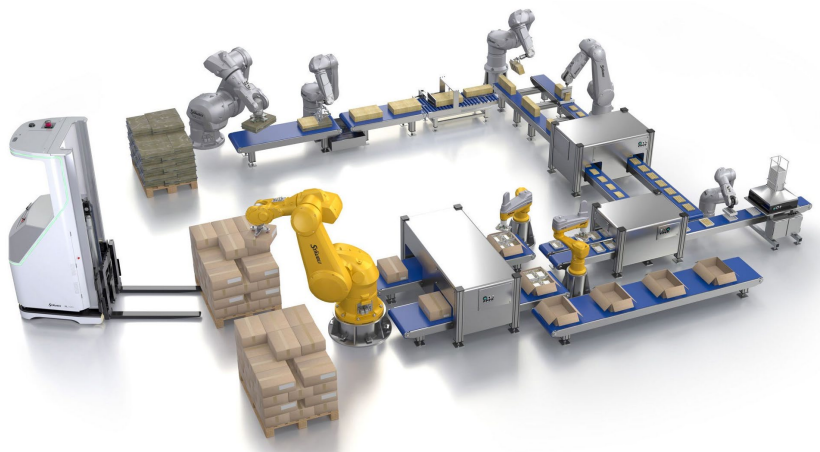


Рис. 55. Лінія виробництва твердого сиру: процес [58]

Майже на кожному технологічному етапі застосовується відповідний робот. Роботи Stäubli відповідають суворим гігієнічним вимогам переробки сиру та виробництва харчових продуктів загалом. У конструкції HE їх можна щодня мити водою або хімікатами, не впливаючи на термін їх служби. Їх продуктивність, а також виняткові гігієнічні властивості щодо динаміки та точності роблять роботів Stäubli HE преміальним вибором для виробництва твердого сиру. Велике портфоліо чотирьох- та шестиосьових роботів гарантує, що кожен процес на лінії виробництва твердого сиру може бути систематично автоматизований за допомогою роботів Stäubli.

Роботи Stäubli забезпечують надфективне виробництво твердого сиру, починаючи від подачі «євроблоків» або сирних коліс, через усі етапи обробки, такі як поділ, нарізання та порціонування, до первинного та вторинного пакування з подальшим укладанням на піддони. Крім того, Stäubli WFT AGV транспортують готові піддони на склад або безпосередньо до відділу доставки без втручання людини.

Ще один приклад, як роботи застосовуються у виробництві сирів.

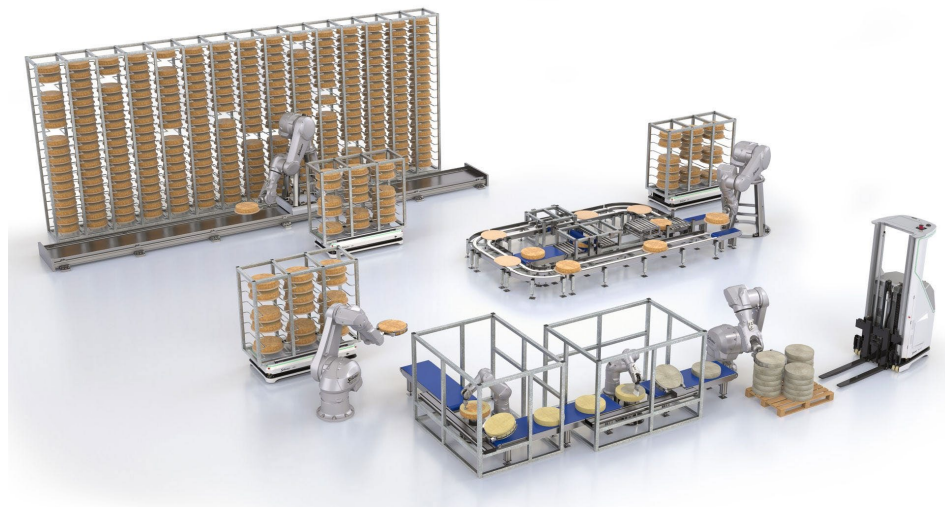


Рис.56. Лінія виробництва твердих сирів Chees Care [58]

Роботи Stäubli HE доводять свою цінність не лише у виконанні всіх етапів процесу на шляху від основного сирного колеса (голівки сиру) до упаковки для продажу, але й у багатьох інших завданнях. Наприклад, ці надзвичайно універсальні машини автоматизують системи догляду за сиром, очищають сирні батони за допомогою лазерного різання та покривають їх приправами. Таким чином вони звільняють людей від важких завдань і стають цінними колегами по роботі в майбутньому. Однією з головних переваг для користувачів є те, що вдосконалені AGV від Stäubli WFT пропонують повний спектр рішень, у яких автоматизовано навіть транспортування сиру між складом, технологічними станціями та відділом відвантаження.

Згідно з рис. 56 TX2-200 HE відповідає за завантаження та розвантаження системи догляду за сиром. Транспортування сирних батонів здійснюється АГВ. Нарешті, автономний вилковий навантажувач від Stäubli WFT від'їжджає з піддонами. Потім TX2-200 HE забирає сирні круги з конвеєрної стрічки та укладає їх на піддон. Для спеціальних сортів сиру другий TX2-90 HE може наносити приправи на поверхню сирного круга. Потім TX2-90 HE знімає шкірку сиру за допомогою високоточного лазерного різання, зводячи відходи до абсолютного мінімуму. Інший TX2-200 HE розвантажує AGV і поміщає сир в систему подачі до станції зняття шкірки. TX2-200 HE збирає сирні батони зі складу та поміщає їх на AGV, який потім доставляє їх на виробничу лінію.

Роботи Stäubli серії HE також відповідають суворим вимогам до виробництва свіжого сиру. Користувачі в усьому світі цінують ці унікальні машини не тільки за їх чудові гігієнічні властивості, але й за надійність.

Для виробників сиру використання роботів забезпечує високу гнучкість у поєднанні з максимальною безпекою продукту. Використання високодинамічних чотирьох- та шестиосьових роботів Stäubli, змащених харчовою олією, забезпечує усунення шкідливих забруднень.

Лінія з виробництва свіжого сиру (рис. 57). TX2-200 HE використовується для приготування сирної маси в невеликих чанах. Робота з

наповненими формами та упаковкою є завданням TX2-200 HE. X2-140 HE відповідає за вилучення продуктів із форм і передачу їх на станцію пакування.



Рис. 57. Лінія з виробництва свіжого сиру [58]

Навіть моделі SCARA TS2 у вторинній упаковці змащуються маслом H1. Типове застосування TX2-200 з великою відстанню: укладання картонних коробок на піддони. Автономний вилковий навантажувач Stäubli доставляє готову продукцію на склад або безпосередньо у відділ відвантаження.

Ще одна ключова перевага системи стає очевидною, коли настає час перемикається між різними варіантами продукту. Перехід можна здійснити всього за кілька хвилин – навіть якщо доведеться поміняти захвати на SCARA. Швидкоз'ємна система дозволяє замінити захват буквально одним рухом зап'ястя.

Питання для самоконтролю

1. Яку роль відіграють автоматизовані системи у виробництві молочних продуктів?
2. Що таке автоматизація у молочній промисловості, які привілеї вона надає?

3. Які виробничі приклади автоматизації можна навести стосовно молочного виробництва?
4. Як працює система машинного бачення?
5. Як розвиток робототеніки впливає на рівень автоматизації виробництва?
6. Як сенсорна система допомагає уникнути забруднення молочної продукції?
7. Що таке SCADA, як така система працює?
8. З якими проблемами стикається галузь автоматизації технологічних процесів у молочному виробництві?
9. Що таке робототехніка, 3D-друк, штучний інтелект, Інтернет речей, великі дані і блокчейн, як все це працює на молочне виробництво?
10. Як роботизовані системи доїння впливають на якість вихідної сировини?
11. У чому полягають поточні виклики та перспективи на майбутнє в автоматизації молочного виробництва?
12. Як наявність роботизованих систем впливає на технологічні показники молочного виробництва?
13. В чому полягають переваги у разі наявності роботизованих систем у порівнянні з їх відсутністю у молочній промисловості?
14. Який принцип закладено у побудові різноманіття роботів у молочному виробництві?
15. Від яких факторів залежить вибір відповідного робота при виробництві молока і молочних продуктів?

Рекомендована навчальна література

1. Грек О.В., Красуля О.О. Молокопереробка. Інновації : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2017. 390 с.
2. Іванов С.В., Грек О.В., Осьмак Т.Г. Молокопереробка. Промисловий інжиніринг : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ: НУХТ, 2017. 275 с.
3. Сухенко Ю. Г., Поліщук Г. Є., Раманаускас Р. Й., Шингарева Т. І. Технологія сиру : підручник. Під заг. ред. Ю. Г. Сухенка; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компринт, 2015. 412 с.

4. Теличкун В. І., Гавва О. М., Теличкун Ю. С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
5. Власенко В.В., Семко Т.В., Шаблій Л.М., Лавицький В.П. Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 330 с. Режим доступу: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/11736.pdf>
6. Caldwell D. G. Robotics and automation in the food industry: current and future technologies. Elsevier. Amsterdam, 2012. 504 p. Режим доступу: <https://surl.li/ludgbb>
7. Chakravorty A. Food engineering automation with robotics and AI. John Wiley & Sons. Hoboken, 2025. 368 p. Режим доступу: <https://surl.li/kchdbq>
8. Luo Z. Robotics, automation, and control in industrial and service settings. IGI Global. Hershey, 2015. 421 p. Режим доступу: <https://surl.li/pnnhrp>

Розділ 11. ПАКУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПАКУВАННЯ ДЛЯ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ І РІДКОГО МОЛОКА

11.1. Види пакувальних матеріалів у молочному виробництві

Пакувальні матеріали та технології для молочних продуктів, включно з рідким молоком, постійно вдосконалюються завдяки розвитку матеріалознавства, нових технологій та змін у поведінці споживачів. У цьому контексті важливе місце займають екологічні підходи до пакування, що поєднують безпеку продукту та зменшення впливу на навколишнє середовище. Зокрема, антимікробна упаковка привертає увагу завдяки здатності продовжувати якість і безпечність продукту під час зберігання. Біорозкладна упаковка відповідає сучасним екологічним вимогам, тоді як довговічність матеріалів із низьким утворенням відходів пов'язана з продовженням терміну придатності молочних продуктів. Активне пакування, яке зменшує проникність упаковки для газів і вологи, дозволяє значно подовжити зберігання продуктів, а технології активного пакування включають використання поглиначів вуглекислого газу, вологи, а також компонентів, що контролюють смак і запах. Крім того, у молочній промисловості постійно впроваджуються нові системи пакування та сучасні технології, здатні підвищити ефективність зберігання та транспортування молочних продуктів, одночасно забезпечуючи їх безпечність і якість.

Упаковка харчових матеріалів для їх зберігання або транспортування не є нещодавною ідеєю, але вона тісно пов'язана з еволюцією суспільства. Ступінь використання упакованої їжі в суспільстві історично залежав від таких факторів, як культура, попит, доступність матеріалів та технологічні ноу-хау. Ранні пакувальні матеріали, такі як мішки, сумки та кошики, в основному виготовлялися з рослинних або тваринних похідних. Потім за ними з'явилися більш складні носії, такі як дерев'яні ящики, висушені на вогні глиняні горщики або миски та скло. Коробки з картону та гофрованого картону стали

популярними елементами упаковки з початку 1900-х років, замінивши дерев'яні ящики та ящики. Промислова революція 1700-х років значно змінила потреби людей, які також включали загальне споживання промислових товарів у великих масштабах.

Упаковка описується як багатоцільова система для транспортування, ідентифікації, захисту та продажу товарів для зберігання, транспортування, розподілу, роздрібної торгівлі та використання. Відповідний вибір і використання різних типів контейнерів для пакування виявляється важливим фактором у цьому процесі. Він має забезпечити безпечну доставку продукту кінцевому споживачеві в належному стані за мінімальних витрат. Такі операції, як очищення та нанесення захисного покриття на товари разом із зважуванням і маркуванням, також є частиною пакування. Обмежене природне біологічне життя органічної їжі також є предметом розгляду при виборі упаковки.

Зростання індустрії швидкого харчування в 1950-х роках мало значний вплив на пакувальну промисловість, але пакування рідкого молока почалося ще до 1950-х років, коли Гейл Борден у 1856 році відкрив і запатентував процес виготовлення згущеного молока. Скляні пляшки використовувалися для пакування молока з 1884 року, після чого було винайдено автоматичний наповнювач і закупорювач пляшок, який було запатентовано в 1886 році. У 1932 році для пакування рідкого молока були введені паперові коробки з внутрішньою стороною, покритою тонкою пластиковою плівкою. На сьогоднішній день найпоширенішими способами пакування молочних продуктів є використання скляних або пластикових пляшок, ламінатів, картонних коробок двосхилого та цегляного типу, пластикових пакетів, баків, банок, контейнерів і тетра-пак. Завдяки унікальним властивостям молочних продуктів, пакування вважається критичним етапом операцій переробки. Причина в тому, що упаковка є останньою ланкою в ланцюжку виробництва. Якщо упаковка вибрана невідповідно або її цілісність пошкоджена під час обробки, транспортування та зберігання молочних продуктів, етапи обробки будуть марними, навіть якщо

вони були виконані належним чином. Надійна упаковка зберігає їжу та продовжує її природне біологічне життя.

Молоко і молочні продукти пакують у різні види пакувальних матеріалів залежно від конкретних властивостей продукту, умов переробки, зберігання, транспортування та кінцевого використання. Основна роль упаковки молочних продуктів полягає у створенні фізичного бар'єру, який може запобігти будь-якому фізичному пошкодженню чи мікробному забрудненню, зберігаючи при цьому найвищу можливу якість. Збільшення терміну зберігання має сенс лише в тому випадку, якщо упаковка здатна стримувати втрату ваги та поживних речовин.

Належне пакування допоможе вмістити певну кількість продукту в одиницях, якими легко користуватись під час виробництва, зберігання, транспортування та споживання, а також надає законодавчу інформацію про продукт споживачу та регуляторам ринку. Маркування на упаковці відіграє важливу роль у поінформованості споживачів, надаючи відомості про склад продукту та його інгредієнти відповідно до вимог законодавства різних країн. При виборі матеріалів для упаковки молочних продуктів необхідно враховувати низку ключових факторів: токсичність і сумісність із продуктом, стійкість до ударів і механічних пошкоджень, здатність підтримувати належні санітарні умови та захищати продукт від запахів і світла, а також стійкість до втручань. Крім того, важливими є характеристики форми, розміру та ваги упаковки, її естетична привабливість, можливість нанесення друку та економічна доцільність матеріалів, що забезпечує баланс між безпекою, функціональністю та витратами.

Хоча традиційні пакувальні матеріали були інертними за своєю природою і не взаємодіяли з молочним продуктом, сучасні тенденції також зосереджені на розробці інтерактивної упаковки для збільшення терміну придатності. Вони зазвичай відомі як активна, розумна або інтелектуальна упаковка.

Пакувальні матеріали для молочних продуктів підбираються з урахуванням багатьох факторів, включаючи сумісність із продуктом, хімічну інертність, нетоксичність, стійкість до ударів і втручань, здатність підтримувати

санітарні умови, а також захист від світла й запахів. До уваги також беруть характеристики упаковки – розмір, форму, вагу, можливість друку та маркетингову привабливість, що в кінцевому підсумку впливає на її вартість. Вибір матеріалу та методу упаковки визначається природою та особливостями конкретного молочного продукту, що забезпечує його якість, безпеку та привабливість для споживача.

Пакувальний матеріал для молочних продуктів, таких як вершкове масло, потребує високих властивостей кисневого бар'єру, оскільки вони чутливі до окислення. Термічна обробка рідкого молока після фасування вимагає, щоб пакувальний матеріал був термостійким. Алюмінієва фольга є ефективним бар'єрним матеріалом, оскільки запобігає проникненню кисню, світла та ароматичних речовин, що допомагає зберегти смак, аромат і якість молочних продуктів. Завдяки цим властивостям вона вважається одним із кращих пакувальних матеріалів для багатьох молочних продуктів, особливо тих, що чутливі до окислення та деградації під дією світла. Картон надає упаковці стійкість і міцність. Tetra Pak (пластик і ламінат) має внутрішній поліетиленовий шар, який герметизує рідину, що міститься, що робить його чудовим матеріалом для пакування рідкого молока. Поліетиленовий шар, який використовується при ламінуванні, також захистить виріб від зовнішньої вологи.

Контейнери з лакованої жерсті є ідеальним пакувальним засобом для топленого масла для оптових торговців, коли місткість зберігання становить від 15 до 250 л/кілограм. Топлене масло, упаковане в жерстяні контейнери, досить стабільне і має термін придатності близько одного року. Оскільки топлене масло дуже чутливе до кисню, ємності з жерсті наповнюють до країв без повітряного зазору. У роздрібних упаковках об'ємом від 50 мл до 1 л використовуються багат шарові коекструдовані плівки з ПВД/ПЕВП і поліетилену, і вони економічніші, ніж контейнери з жерсті.

ПВД – поліетилен низької щільності. Пластикові плівка та харчова плівка, паперова коробка для молока, коробка для напоїв та інші пакувальні коробки.

ПЕВП – поліетилен середньої щільності. Пляшки для молока, масел та миючих засобів, мішки, іграшки, труби та мотузки, а також універсальні контейнери, імітація дерева

Пакети з ламінату на основі алюмінієвої фольги широко застосовуються для упаковки топленого масла завдяки їхній здатності захищати продукт від кисню, світла та сторонніх запахів. Для подібних цілей такі ламіновані матеріали також рекомендуються як гнучка упаковка для харчових олій і ванаспаті, оскільки вони забезпечують збереження якості, подовжують термін придатності та полегшують транспортування та зберігання продукту.

Ванаспаті – це повністю або частково гідрогенізована рослинна олія для приготування їжі, яка часто використовується як дешевша заміна топленого та вершкового масла .

Топлене масло також продається в футерованих картонних коробках із гнучким ламінованим пластиком як внутрішнім матеріалом, а також у тетрапаках.

Надвисокотемпературна (УНТ) обробка перетворює молоко з швидкопсувного продукту на товар із тривалим терміном зберігання, нагріваючи його протягом 1–8 секунд при температурі 135–154 °С. Проте ефективність цього процесу значною мірою залежить від упаковки, адже висока температура обробки сама по собі не гарантує тривалого збереження молока без належного захисту. УНТ-молоко, так само як пастеризоване та стерилізоване, можна упаковувати у пластикові пляшки або пакети, які можуть бути видуті на місці пакування або попередньо сформовані у стерилізованій чи нестерилізованій формі. Щоб забезпечити довгий термін зберігання, часто використовують багатошарові ламінати, наприклад, потрійний шар поліетилену високої щільності, а проникнення кисню під час зберігання зазвичай не створює проблем. Асептичні методи наповнення і закупорювання гарантують відсутність забруднення, що дозволяє досягати терміну придатності до 6 місяців при кімнатній температурі. Для продуктів із коротким терміном зберігання (10–15 днів) застосовують пакети з білого поліетилену та паперу. Сьогодні на світовому

ринку спостерігаються інноваційні тенденції в пакуванні молочних продуктів, серед яких – целюлозні волокна з натуральних або перероблених матеріалів, що дозволяють виготовляти біорозкладну та переробну упаковку, поєднуючи захист продукту та екологічну безпеку.

11.2. Інновації в технології пакування молочних продуктів

Технології пакування та матеріали для молочних продуктів відіграють ключову роль у підвищенні їх привабливості та здатності привертати увагу споживачів. Інновації в упаковці обумовлені не лише зростаючими вимогами до екологічності, але й особливостями самих молочних продуктів, які швидко псуються, що вимагає надійного захисту та збереження їхньої свіжості та якості протягом усього терміну зберігання.

11.2.1. Упаковка з контрольованою та модифікованою атмосферою

Упаковка з модифікованою атмосферою (MAP) передбачає початкову зміну газового складу всередині упаковки молочних продуктів, яка може додатково змінюватися протягом зберігання. Ця технологія дозволяє продовжити термін придатності продукту, зберігаючи його мікробіологічну безпеку та сенсорні властивості, такі як смак, аромат і текстура.

11.2.2. Активна упаковка

Активне пакування – це тип упаковки, яка активно взаємодіє з продуктом або його навколишнім середовищем, щоб продовжити термін придатності, підвищити безпеку та зберегти якість молочних продуктів. Воно містить функціональні компоненти, такі як абсорбенти, емітери або спеціальні покриття, які можуть поглинати небажані речовини (кисень, вологу, етилен), виділяти захисні агенти (CO₂, антимікробні речовини) або контролювати газовий склад і кислотність всередині упаковки. Основні матеріали включають саше та вкладиші з активними речовинами, плівки з вбудованими антимікробними агентами та полімери з нано-частинками для покращення бар'єрних властивостей. Переваги

такої упаковки – зменшення харчових втрат, підвищення безпечності продуктів, збільшення терміну придатності без додаткових консервантів і покращення споживчої привабливості. Для молочних продуктів активно використовуються упаковки, які регулюють рівень етилену, кисню та вологи для підтримки свіжості та консистенції продукту.

11.2.3. Мітки RFID (Radio Frequency Identification)

Теги радіочастотного індикатора використовують електромагнітні поля для автоматичної ідентифікації та відстеження посилок. На упаковці молочних продуктів ці мітки використовуються для відстеження та інформування клієнтів про якість молочних продуктів.

RFID-міткою називають мініатюрний запам'ятовуючий пристрій. В його основі лежить мікрочип, який зберігає інформацію, а також антена, яка відповідає за передачу та отримання даних. Ця мітка може бути активною (працювати від джерела живлення), але в більшості випадків прилади не потребують живлення.

11.2.4. Інтелектуальна біосенсорна упаковка

Технологія інтелектуальної біосенсорної упаковки передбачає інтеграцію біосенсорів безпосередньо в упаковку молочних продуктів. Такі сенсори можуть виявляти ознаки псування продукту, наприклад, через зміну кольору або появу спеціальних індикаторів, що сигналізують про погіршення якості. Завдяки цьому споживач отримує наочну та достовірну інформацію про безпеку молочних продуктів, що сприяє захисту здоров'я та запобігає вживанню зіпсованої продукції.

Це сучасна технологія, яка передбачає використання біосенсорів, інтегрованих у упаковку молочних продуктів, для контролю стану, якості та безпечності продукту в режимі реального часу. Такі сенсори реагують на зміну параметрів, пов'язаних із псуванням молока (наприклад, рН, концентрацію

летких сполук, активність мікроорганізмів) і можуть візуально інформувати споживача або персонал про стан продукту.

Таблиця 10

Функції біосенсорної упаковки для молочних продуктів

Функція	Опис
Виявлення псування	Визначення рівня кислотності, аміаку, летких кислот тощо
Мікробіологічна безпека	Виявлення активності бактерій, грибів та інших патогенних організмів
Візуальна індикація	Зміна кольору індикатору, який попереджає про непридатність продукту
Контроль температури	Сенсори можуть фіксувати відхилення температурного режиму

Таблиця 11

Порівняння: традиційна упаковка vs інтелектуальна біосенсорна упаковка

Критерій	Традиційна упаковка	Інтелектуальна біосенсорна упаковка
Функція	Захист продукту від зовнішнього впливу	Захист + контроль стану продукту в реальному часі
Контроль якості	Лише за терміном придатності, зазначеним на етикетці	Реальна оцінка свіжості та безпечності продукту
Мікробіологічна безпека	Не визначається без лабораторного аналізу	Біосенсори реагують на наявність мікроорганізмів
Інформування споживача	Потребує здогадки: свіже чи ні	Візуальні індикатори (зміна кольору, QR-коди тощо)
Температурний контроль	Можливе порушення без виявлення	Сенсори температури фіксують відхилення від норм
Складність виробництва	Проста, недорога технологія	Складніша, дорожча через сенсорні компоненти
Екологічність	Може підлягати переробці або ні	Залежить від типу сенсорів і матеріалів
Застосування	Усі види молочних продуктів	Передусім продукти з коротким терміном придатності (молоко, йогурт)

Інтелектуальна упаковка доповнює функцію захисту – вона працює як «розумний індикатор», що підвищує харчову безпеку, зменшує ризик отруєнь і

допомагає споживачу приймати рішення, ґрунтуючись не лише на даті, а на реальному стані продукту.

11.2.5. Вбудовування QR-коду

Технологія вбудовування QR-коду дозволяє бездротово відстежувати пакети молочних продуктів і одночасно створює інтерактивний досвід для споживача. Завдяки цій підключеній технології упаковки виробники можуть розміщувати QR-коди, які легко скануються на цифрових пристроях, таких як смартфони та планшети, і підключати їх до соціальних мереж, вебресурсів або інших точок взаємодії з брендом. Це підвищує прозорість ланцюга постачання, покращує комунікацію з покупцями та сприяє формуванню більш залученого споживчого досвіду.

11.2.6. Асептична упаковка

Історія асептичної упаковки сягає корінням у початок 20 століття, коли для стерилізації використовувалася перегріта пара при 210 °С. Асептичні умови буквально означають відсутність мікробів, таких як бактерії, віруси та інші мікроорганізми, які можуть спричинити захворювання, а асептичне пакування – це концепція упаковки, коли продукт упаковується в асептичних умовах, що забезпечує тривалий термін зберігання молока УНТ. Асептичне пакування передбачає розміщення стерильного продукту в стерильній упаковці, яка потребує стерильного середовища. Комерційне наповнення стерилізованого та охолодженого продукту в попередньо простерилізовані контейнери та герметизація в атмосфері, вільній від мікроорганізмів, називається асептичною обробкою та пакуванням, яке також не є системою tetra pack. У 2020 році світовий ринок асептичної упаковки оцінювався приблизно в 50,86 мільярдів доларів США. Хоча очікується, що з 2021 по 2027 рік він зростатиме на 8,7% CAGR. Очікується також, що споживання асептичної упаковки зросте зі зростанням пакувальної промисловості, особливо в країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону, що розвиваються, включаючи Індію, Китай і Японію.

Основні операції асептичної упаковки включають кілька ключових етапів:

- ✓ Нагрівання продукту до температури стерилізації – зазвичай 140–150 °C протягом кількох секунд, що забезпечує знищення мікроорганізмів і патогенів.
- ✓ Підтримання стерильності продукту до його охолодження та подальшого пакування, щоб запобігти повторному забрудненню.
- ✓ Розфасовка в стерильні контейнери та закупорювання в асептичних умовах, що гарантує довготривале зберігання без охолодження і підтримує безпеку та якість продукту.

Ця технологія дозволяє отримувати молочні продукти з тривалим терміном зберігання без додаткових консервантів, забезпечуючи при цьому їх безпеку та збереження смакових якостей.

Асептична упаковка дозволяє молоку зберігатися щонайменше 3–6 місяців без будь-якого охолодження. При охолодженні можливий термін зберігання до 1 року.

Методи та технології пакування, що використовуються в молочній промисловості, зазнають змін, щоб відповідати потребам споживачів і харчової промисловості. Новітні ідеї та концепції щодо пакування молочних продуктів пропонують численні можливості для покращення захисту та збільшення терміну зберігання продуктів. Деякі з нещодавно запроваджених методів дозволяють оприлюднити інформацію щодо свіжості продукту. Такі інноваційні підходи здатні підвищити безпеку у зберіганні молочної продукції.

Технологічні інновації в упаковці молочних продуктів не тільки підвищують цінність бренду, але й безпосередньо зв'язують споживача з брендом і виробником. У промисловості упакованих молочних продуктів є такі цікаві продукти, як ароматизований йогурт. Молочний сегмент швидко розвивається. Такі продукти, як змішані та питні йогурти, є популярними, оскільки споживачі шукають здорові та смачні варіанти молочних продуктів. Споживачі все більше усвідомлюють користь для здоров'я ферментованих

молочних продуктів, таких як грецький йогурт. Бренди упакованих молочних продуктів є інноваційними щодо рецептур, смаків і привабливої упаковки.

Крім того, зростає гіперлокальна доставка свіжих молочних продуктів за передплатою, особливо серед міських споживачів. Таким чином, існує потреба в прийнятті технологічних рішень для пакування, оскільки молочні продукти дуже швидко псуються. Вони повинні бути захищені від забруднення, а термін їх придатності повинен підтримуватися для забезпечення здоров'я та безпеки споживачів. Упаковка відіграє ключову роль не лише в збереженні якості продукту, а й у формуванні бренду. Технології підключеного пакування, такі як вбудовування QR-коду, дозволяють створювати інтерактивний досвід для споживачів. За допомогою таких інструментів, як штучний інтелект і доповнена реальність, QR-коди можуть надавати інформацію про продукт, демонструвати бренд-контент, пропонувати рецепти або інтерактивні ігри, тим самим посилюючи взаємодію між споживачем і брендом та підвищуючи лояльність до продукту.

У харчовій промисловості, особливо для таких продуктів, як вершкове масло та вершковий сир, ефективна та надійна упаковка є критичною для збереження якості та безпеки продукції. Традиційні методи пакування часто не забезпечують достатньої герметичності, захисту від несанкціонованого доступу та зручності відкривання, що може призводити до швидшого псування продукту, втрати сенсорних властивостей і незадоволення споживачів. Сучасні підходи до пакування враховують ці обмеження, впроваджуючи матеріали та конструкції, які підтримують свіжість, подовжують термін зберігання і підвищують зручність користування.

Як приклад пакувального обладнання для продуктів з молока наведено декілька найсучасніших пакувальних машини відомих світових компаній.

FreshPack від ALPMA Alpenland Maschinenbau GmbH – це повністю автоматична система пакування, розроблена для вершкового масла та інших пастоподібних продуктів, таких як змішаний жир і вершковий сир.

ALPMA пропонує комплексні рішення для молочної промисловості, включаючи технологічні процеси, заводське виробництво, мембранну фільтрацію та широкий спектр методів виробництва сиру.

Система **FreshPack** використовує інноваційний підхід до упаковки продуктів у фольгу, запечатуючи їх повністю з усіх боків. Матеріал подається з рулону, надрізи формують фольговані стаканчики для наповнення продуктом, після чого упаковку герметично закривають і згортають, забезпечуючи щільне прилягання клапанів. Система працює з високою швидкістю до 250 упаковок за хвилину, виробляючи упаковки з кришками, захищеними від несанкціонованого доступу, та ароматичними пломбами. Це гарантує безпечний і стабільний продукт, підвищує зручність використання та надійність для виробників і споживачів.



Рис. 58. Автоматична система пакування [59]

Система **FreshPack** має низку переваг: високу швидкість пакування до 250 упаковок за хвилину, надійний захист продукту від несправностей, ароматну пломбу для збереження свіжості, повністю автоматизовану роботу, що зменшує ручну працю, а також інноваційну концепцію складання, яка забезпечує безпечні та зручні для відкриття пакети.

Вакуумні пакувальні машини для термоформування Utien Pack. У технології термоформування вакуумної упаковки гнучка плівка формується в пакет за допомогою термоформування, після чого продукт поміщається в упаковку вручну або автоматично. Потім із пакета видаляється повітря для створення вакуумного середовища, і упаковка герметично запечатується, забезпечуючи тривале збереження продукту та захист від зовнішніх впливів.



Рис. 59. Термоформуюча вакуумна пакувальна машина Серія DZL-R [60]

Вакуумна упаковка є одним із найефективніших методів подовження терміну придатності харчових продуктів, забезпечення їх свіжості, збереження смакових якостей та запобігання розвитку бактерій, цвілі та окислення. Вона широко використовується у різних галузях харчової промисловості, включаючи пекарні, молочні продукти, м'ясо, птицю, морепродукти, продукти швидкого приготування, корми для тварин та сільськогосподарську продукцію. Машини термоформування вакуумної упаковки Utien Pack дозволяють автоматизовано формувати гнучкі пакети з багатошарової коекструдованої плівки PE/PA, забезпечуючи високий рівень герметичності та захист продукту. Ці машини підтримують налаштування розміру, форми та спеціального дизайну упаковки, що підвищує привабливість продукції на полиці та дозволяє ефективно використовувати одну машину для різних видів продуктів. Комп'ютерне управління, модульна конструкція та можливість використання кількох наборів форм у одній машині підвищують ефективність виробництва, скорочують час простою та знижують витрати на упаковку. Технічні характеристики включають

швидкість 6–8 циклів за хвилину, глибину формування до 160 мм, ширину плівки до 520 мм, попередню довжину до 500 мм, товщину плівки ≥ 300 мкм, діаметр рулону 500 мм, розміри машини 6000×1300×1870 мм, робочу висоту 1000 мм, довжину вантажної зони 1500 мм (налаштовується) та вагу 2000 кг. Завдяки своїй високій продуктивності та надійності ця технологія забезпечує економічно ефективне та якісне пакування продуктів, що робить її ідеальним рішенням для сучасних молочних та харчових підприємств. Виробник – Китай.

11.3. Майбутнє упаковки молочних продуктів

Конструкції упаковок стають дедалі функціональнішими, оскільки виробники прагнуть здобути конкурентну перевагу. Упаковка перетворюється на важливий інструмент підвищення привабливості продукту та зміцнення бренду. Розробники молочних продуктів усе частіше застосовують жорсткі та гнучкі пакети, що дозволяють підтримувати свіжість і безпечність продуктів, одночасно покращуючи їх презентацію на полицях у гіперконкурентному секторі. Це стимулює постійний розвиток інноваційних дизайнів і рішень від постачальників упаковки.

Еволюція упаковки молочних продуктів пройшла шлях від скляних пляшок до поліетиленових пакетів, картонних коробок, банок, тетрапаків та алюмінієвих контейнерів. Сучасні виробники продовжують впроваджувати інноваційні та зручні формати упаковки, включаючи прозорі контейнери, пакети, що стискаються, а також пластикові пляшки з поліетилену високої щільності з алюмінієвою фольгою, ламінованими термозварними кришками або ковпачками з поліетилену низької щільності для захисту від окислення та світлочутливих змін кольору.

Крім того, застосовуються системи упаковки в модифікованій атмосфері з асептичними та антимікробними властивостями, які дозволяють продовжити термін зберігання продуктів до 90 днів у холодильнику та запобігають грибковому забрудненню. Все більше компаній використовують екологічні

матеріали для зменшення впливу на довкілля та збереження ресурсів, включаючи неметалеві контейнери для морозива, які знижують ризик травм і втрат продукту.

Споживачі отримують прозорі упаковки, застібки-блискавки та герметичні плівки для покращення свіжості, а також розширюється асортимент сталих та екологічних рішень. Зростання обізнаності про сталий розвиток стимулює попит на упаковку з гарною історією, що підтверджується інформацією з традиційних і соціальних медіа.

Питання для самоконтролю

1. Яку роль відіграють антимікробна та біорозкладна упаковки?
2. В чому полягає технологія активного пакування?
3. Яку головну ідею закладено в активну, розумну або інтелектуальну упаковку?
4. Які основні вимоги пред'являють до пакувальних матеріалів у молочному виробництві?
5. Для яких молочних продуктів застосовують контейнери з лакованої жерсті та пакети з ламінації з алюмінієвої фольги?
6. З якою метою у практиці пакування молочних продуктів застосовують целюлозу?
7. Якими позитивними якостями володіє упаковка з модифікованою атмосферою?
8. З якою метою застосовують на упаковці молочних продуктів мітки Radio Frequency Identification?
9. У чому суть технології вбудовування QR-коду на упаковці молочних продуктів?
10. Які умови мають бути виконані з застосуванням асептичної упаковки?
11. Якими якісними характеристиками повинна відрізнятися екологічна упаковка у молочному виробництві від інших звичайних упаковок у харчовій промисловості?

Рекомендована навчальна література

1. Власенко В. В., Головка М. П., Семко Т. В., Головка Т. М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
2. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ: Світ книг, 2021. 290 с.
3. Кузьмін Є. С. Ефективність інвестицій підприємств молочної промисловості: монографія. Київ : ІАЕ, 2015. 254 с.
4. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. Режим доступу: <http://library.nuft.edu.ua>
5. Перцевий Ф. В., Терешкін О. Г., Гурський П. В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. За ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
6. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
7. Теличкун В. І., Гавва О. М., Теличкун Ю. С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
8. Поліщук Г. Є., Грек О. В., Скорченко Т. А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2013. 502 с.

Розділ 12. ВІДХОДИ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ЇХ УТИЛІЗАЦІЯ

12.1. Вплив молочної промисловості на стан навколишнього середовища

Вплив на навколишнє середовище в молочній промисловості поширюється на всі етапи виробництва – від отримання молока до його пакування, зберігання та розподілу. Особливо значним є вплив стічних вод, які утворюються на цих етапах. Якщо їх не утилізувати належним чином, це може призвести до серйозного забруднення водних ресурсів і ґрунту. Молочна промисловість виробляє значну кількість стоків, що містять лактозу, білки, жири та іони, навіть у менших обсягах, ці компоненти здатні порушувати біохімічний баланс водних систем. Тому перед потраплянням у каналізацію молочні стічні води потребують ретельного очищення, щоб зменшити забруднення, мінімізувати екологічні ризики та дотримуватися санітарних та екологічних норм.

Молочна промисловість істотно впливає на забруднення води та її якість, адже під час переробки молока та виробництва молочних продуктів використовується велика кількість води. Після використання ця вода часто містить високі концентрації забруднюючих речовин – білків, лактози, жирів і іонів, що робить її непридатною для повторного використання без попередньої обробки. Для ефективного управління такими стоками застосовуються традиційні методи очищення, такі як механічна фільтрація, відстоювання, біологічні та хімічні процеси. Кожен із цих методів має свої переваги та обмеження: вони можуть ефективно видаляти великі частки або органіку, але часто не здатні повністю очистити воду від розчинених речовин або забезпечити високий ступінь повторного використання води. Ці обмеження стимулювали розвиток нових інноваційних технологій очищення стічних вод, включаючи комбіновані підходи, мембранні процеси, біореакторні системи та фізико-хімічні методи, що дозволяють досягати більш високого ступеня очищення та економного використання води у молочній промисловості.

Молочна промисловість виробляє 1–3 літри стічних вод на кожен літр переробленого молока через високий вміст органічних речовин – вуглеводів,

білків і жирів, які надходять з молока. Характеристики цих стоків залежать від типу продукту, що переробляється, тому склад стічних вод може суттєво відрізнятися між виробництвом молока, сиру, йогурту чи масла. Високий органічний вміст створює ризик швидкого виснаження кисню в водних середовищах, куди вони потрапляють, що негативно впливає на екосистеми, тому очищення молочних стічних вод є обов'язковим. Більшість урядів запровадили суворі нормативи для скидання стоків з метою захисту навколишнього середовища: біологічна потреба в кисні (BOD_5) ≤ 100 мг/л, загальна кількість завислих твердих речовин (TSS) ≤ 150 мг/л та масляне мастило ≤ 10 мг/л. Дотримання цих стандартів є ключовим для запобігання забрудненню водних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки.

Загалом традиційне очищення стічних вод молочних заводів включає різноманітні фізичні, хімічні та біологічні методи, спрямовані на зменшення вмісту твердих часток, колоїдів, органічних речовин, поживних речовин та розчинних забруднювачів, таких як метали чи органіка. Використовують різні підходи: від класичних технологій до перевірених процесів відновлення та сучасних методів видалення забруднень, що дозволяють зменшити кількість відходів та енергоспоживання на підприємстві. Проте постійний розвиток екологічних стандартів та прагнення підвищити ефективність виробництва стимулюють заміну застарілих технологій на інноваційні рішення. Прикладом сучасного підходу є мембранна технологія, яка стає важливим інструментом у харчових технологіях для обробки молочних продуктів, побічних продуктів та харчових відходів, забезпечуючи високу ефективність очищення та можливість повторного використання ресурсів.

12.2. Очищення молочних стічних вод за допомогою інноваційної технології мембранної сепарації

На початку 1960-х років у Каліфорнійському університеті в Лос-Анджелесі була створена перша бездефектна анізотропна мембрана зворотного осмосу з високим потоком, що було відповіддю на зростаючі занепокоєння щодо

постачання питної води. Було розроблено ефективний метод виробництва таких мембран. Перше лабораторне опріснювальне обладнання, відоме як «велика крапельниця», забезпечувало невеликі обсяги прісної води, але заклало основу глобального бізнесу вартістю мільярди доларів. Відкриття асиметричних мембран вважають початком сучасних досліджень мембранних технологій.

У харчовій промисловості та виробництві напоїв мембранні процеси застосовуються як альтернатива класичним методам розділення, очищення та концентрування продуктів у рамках концепцій «сталого виробництва» та «підходу без відходів». Основні причини широкого використання мембранних процесів у харчовій промисловості та індустрії напоїв включають: зменшення кількості етапів обробки порівняно з традиційними методами; мінімальні втрати аромату та поживних компонентів харчових продуктів і напоїв через уникнення високих температур, що застосовуються у класичних процесах, та покращення якості кінцевого продукту; високу селективність процесу. Крім того, мембранні технології забезпечують вбудовані переваги, підвищуючи ефективність процесу за рахунок зменшення необхідного обладнання, надання великої операційної гнучкості та зниження енергоспоживання.

12.2.1. Методи мембранної фільтрації

Процес мембранного розділення залежить від природи мембрани, яка розділяє рідину на дві частини: пермеат і ретентат, що робить її хорошим інструментом для розділення, концентрації та очищення. Морфологію мембран можна класифікувати відповідно до їх пористості, щільності, симетрії та асиметрії.

Типовими процесами мембранних операцій є тупиковий потік та перехресний потік. У тупиковому режимі рідина, що фільтрується, зазвичай під тиском подається на мембрану, і частина потоку проходить крізь пори мембрани, тоді як решта залишається на поверхні, що може призводити до накопичення осаду та забивання мембрани. У режимі перехресного потоку рідина тече паралельно поверхні мембрани, що дозволяє більш рівномірно знімати

відкладення та забезпечує проникнення частини потоку через мембрану завдяки різниці тисків, підвищуючи ефективність та стабільність фільтрації. Перехресний потік перешкоджає утворенню фільтраційної осаду, таким чином підтримуючи його низький рівень.

Мембранні процеси у молочній промисловості охоплюють мікрофільтрацію, ультрафільтрацію, нанофільтрацію та зворотний осмос, і їх зазвичай класифікують за середнім розміром пор мембрани та типом речовин, які вони здатні відокремлювати. Щільні мембрани працюють за принципом розчинення та дифузії через матеріал мембрани, а рушійною силою цих процесів є трансмембранний тиск. Важливим фактором є також обмеження молекулярної маси, що визначає, які молекули або йони можуть проходити через мембрану (наприклад, 100 кДа відповідає приблизно 0,01 мкм). Ці два параметри — тиск і обмеження молекулярної маси — є ключовими для проектування та регулювання мембранних процесів.

Конкретні приклади застосування мембран у молочній промисловості:

- ✓ Мікрофільтрація (>100 000 Да, 0,1–2 бар) використовується для видалення бактерій і жиру, а також для фракціонування молочних продуктів.
- ✓ Ультрафільтрація (1000–100 000 Да, 2–10 бар) дозволяє стандартизувати молоко та отримувати концентровані білки з сироватки для комерційного використання.
- ✓ Нанофільтрація (100–1000 Да, 5–40 бар) застосовується для демінералізації сироватки та контролю мінерального складу продуктів.
- ✓ Зворотний осмос (1–100 Да, 30–100 бар) служить для концентрування рідких компонентів, очищення води та підготовки концентратів для виробництва сухих молочних продуктів.

Однією з ключових проблем мембранних процесів є забруднення мембран, що призводить до зниження потоку і зменшення ефективності розділення. Основні явища забруднення включають концентраційну поляризацію — накопичення певних компонентів на поверхні мембрани, та утворення шару

гелю, який блокує пори і вимагає промивання для відновлення працездатності мембрани. Крім того, обростання мембрани відбувається через адгезію та відкладення твердих частинок, колоїдів, біомакромолекул і мікроорганізмів, що фізично та хімічно взаємодіють із поверхнею мембрани, зменшуючи пропускну здатність. Це явище можна описати через кілька моделей: повного блокування, проміжного блокування, стандартної блокуючої моделі та моделі шару чека.

Для боротьби із забрудненням застосовуються різні хімічні та фізичні методи обробки, а сучасні дослідження зосереджуються на екологічно безпечних та перероблених матеріалах для очищення мембран. Не менш важливою є попередня обробка стічних рідин, що дозволяє підвищити продуктивність мембран і зменшити їх забруднення. Ефективність попередньої обробки залежить від багатьох факторів: типу використаного агента (коагулянт, адсорбент, окислювач, біофільтр), способу та режиму дозування (безперервний або періодичний), техніки змішування, температури, характеристик природних органічних речовин (гідрофобність, молекулярний розмір, заряд), умов середовища (рН, іонна сила), а також властивостей самої мембрани (гідрофобність, заряд, морфологія поверхні).

Використання мембранних технологій у молочній промисловості дозволяє мінімізувати кількість необхідного обладнання, зменшити споживання енергії, підвищити селективність процесу та зберегти аромат, смак і поживні властивості молочних продуктів, що робить їх більш конкурентоспроможними та стійкими з точки зору екології та економіки.

12.2.2. Коагуляція як процес попередньої обробки для підвищення швидкості агрегації частинок

Це найпоширеніший і водночас ефективний процес попередньої обробки стічних вод у молочній промисловості завдяки його відносно низькій вартості та простоті експлуатації. Метод коагуляції залишається багатообіцяючим для зменшення забруднення мембран, одночасного покращення каламутності води, зменшення розчиненого органічного вуглецю та видалення мікроорганізмів.

Оптимізація процесу коагуляції є критично важливою: тип коагулянту значною мірою впливає на ефективність мембрани, а недостатня доза може погіршити її роботу. Адекватне застосування коагулянту дозволяє значно зменшити забруднення та підвищити продуктивність мембран, забезпечуючи високу швидкість видалення мікроорганізмів і інших домішок у воді. Ефективність коагулянту також залежить від робочих умов, таких як рН сирової води, оскільки оптимальні умови покращують його дію і сприяють мінімізації забруднення мембрани. Різні коагулянти, наприклад, галун або хлорид заліза (FeCl_3), можуть вимагати додаткового регулювання рН для досягнення найкращих результатів. Крім того, метод коагуляції може здійснюватися різними способами: внутрішня коагуляція відбувається без седиментації або попередньої фільтрації, тоді як стандартна коагуляція включає ці етапи, що забезпечує додаткове осадження частинок і покращує очищення стічних вод перед мембранною обробкою.

Процес прилипання забруднень до поверхні адсорбенту, відомий як адсорбція, часто застосовується як метод попередньої обробки стічних вод. Адсорбенти відзначаються високою пористістю та великою питомою поверхнею, що дозволяє їм ефективно поглинати та утримувати різні домішки. Серед численних адсорбентів особливо поширене використання порошкоподібного активованого вугілля у мембранних фільтраційних процесах. Адсорбцію можна поєднувати з мембранною фільтрацією у двох основних конфігураціях, аналогічно до методів попередньої коагуляції: у вигляді інтегрованого мембранного реактора або окремого реактора, розташованого після основного мембранного блоку.

Досліджено теоретичні переваги окремих методів попередньої обробки та розроблено інтегровані підходи для компенсації їхніх обмежень. Такі інтегровані системи зазвичай характеризуються високими капітальними витратами, що може ускладнювати їхнє впровадження в країнах, що розвиваються. Проте, якщо ці системи ефективно контролюють забруднення та підвищують продуктивність мембран, це може значно знизити експлуатаційні витрати. У випадках, коли джерельна вода має низьку якість, а необхідно отримати високоякісні стоки,

інтегровані системи можуть бути єдиним життєздатним варіантом, навіть попри високі загальні витрати. Водночас слід пам'ятати, що жодна відома технологія не здатна повністю усунути забруднення мембран, а деякі інтегровані системи можуть навіть посилювати цей ефект. Однією з причин суперечливої ефективності інтегрованих систем є утворення опадів у результаті комбінації окремих процедур попередньої обробки, що може негативно впливати на стан мембрани. Тому при впровадженні таких систем надзвичайно важливо ретельно оцінювати можливі несприятливі наслідки. Хоч капітальні витрати зростають, сучасні дослідження спрямовані на оптимізацію конкретних методів попередньої обробки з метою підвищення проникності та тривалості ефективної роботи мембран.

Як уже зазначалося, видалення забруднень з мембран залишається серйозною проблемою для їх широкого використання, адже процес очищення є дорогим і генерує значну кількість відходів. Тому зростає інтерес до нових мембранних матеріалів та конструкцій, здатних зменшити забруднення та потребу в хімічних очисних засобах. Основна мета полягає у мінімізації взаємодії забруднювачів з поверхнею мембрани, що можна досягти двома шляхами: зміною властивостей мембрани, наприклад, у змочуванні, або створенням турбулентності на поверхні мембрани за рахунок структурних особливостей. Другий підхід вважається більш ефективним для комерційних мембран, оскільки дозволяє покращити саму динаміку потоку рідини і зменшити налипання забруднень. Турбулентність досягається шляхом формування завихрень біля мембранної поверхні за допомогою регулярних або нерегулярних структур, таких як виступи, канали, лінії або втиснення. Різні техніки дозволяють створювати такі візерунки, а однією з найсучасніших є 3D-друк. Ця технологія відкриває можливості для виготовлення більш складних і неправильних форм та структур мембран, які неможливо реалізувати традиційними методами, тим самим значно підвищуючи ефективність мембранних процесів і зменшуючи забруднення.

Забруднення мембран часто контролюють за допомогою турбулентного потоку, проте його створення потребує додаткових енергетичних витрат. Щоб підвищити ефективність процесу, у проточний канал трубчастих мембран можна встановлювати стимулятори турбулентності або статичні змішувачі. Такі елементи відхиляють потік рідини, створюють завихрення, активізують зворотний транспорт частинок і підвищують швидкість зсуву на поверхні мембрани, що значно знижує накопичення забруднень. Водночас, ефективність цих методів багато в чому залежить від геометрії стимуляторів турбулентності, і наразі потребується додаткове вивчення того, як різні форми та розміри цих елементів впливають на запобігання забрудненню та оптимізацію роботи мембранних систем.

Дослідження показали, що зміна гідродинамічних умов у мембранному модулі може значно покращити ефективність змішування та умови потоку. Впровадження тривимірних (3D)-друкованих прокладок у мембранний модуль дозволяє оптимізувати рух рідини, покращує масообмін і зменшує концентраційну поляризацію та забруднення мембрани. Тривимірний друк відкриває перспективи створення нового класу вискоєфективних лабораторних та промислових фільтраційних пристроїв. Крім того, посилене механічне перемішування всередині модуля сприяє збільшенню швидкості зсуву на поверхні мембрани, що додатково знижує накопичення забруднень і підвищує продуктивність фільтрації.

12.2.3. Адаптація варіантів техніки 3D-друку до виробництва мембран

За останнє десятиліття спостерігається зростання кількості наукових публікацій, пов'язаних із використанням 3D-друку в мембранних процесах, що відображає загальне збільшення досліджень у сфері 3D-друку. Особлива увага приділялася налаштуванню прокладок і конструкцій для мембранних процесів, таких як ультрафільтрація, зворотний і прямий осмос, а також мембранна дистиляція. Промотори турбулентності стають перспективною альтернативою

для покращення гідродинамічних умов у мембранних процесах, оскільки вони зменшують осадження частинок шляхом збільшення швидкості зсуву на поверхні мембрани. Ефективність таких пристроїв значною мірою залежить від їхньої геометрії. Використання 3D-друку у виробництві промоторів турбулентності дозволяє створювати складні геометричні конструкції з різних матеріалів, що раніше було неможливо, і забезпечує значне підвищення ефективності мембранної фільтрації та зменшення забруднення мембран.

Поточні наукові зусилля зосереджені на пошуку ефективних стратегій для зменшення забруднення мембран, що залишається ключовою проблемою при використанні альтернативних методів очищення стічних вод. У майбутніх дослідженнях особлива увага буде приділятися поєднанню фізичних методів із технологіями 3D-друку, зокрема для обробки молочних відходів та оптимізації управління стічними водами в молочній промисловості.

Забруднення води є серйозною проблемою через зростання населення та різноманітну діяльність людини, що щодня призводить до утворення великих обсягів стічних вод. Обмежені запаси прісної води та зростаючий попит на неї посилюють проблему нестачі води. Джерелами забруднення є промисловий, побутовий та сільськогосподарський сектори, які викидають шкідливі речовини у водойми. Щоб зменшити забруднення, особливо в розвинених країнах, запроваджуються суворі правила щодо належної очистки промислових стоків перед їх скиданням у навколишнє середовище. Харчова промисловість, а особливо молочна, є значним джерелом забруднення води. Стічні води молочних заводів містять високі концентрації органічних речовин, поживних речовин і зважених частинок, що становить ризик для довкілля та здоров'я людей, якщо їх не очищати належним чином. Традиційні методи очищення, такі як осадження, коагуляція та флокуляція, адсорбція і фільтрація, а також біологічна деградація, застосовувалися для очищення молочних стоків. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки щодо ефективності, вартості та впливу на навколишнє середовище.

В останні роки технологія мембранної сепарації стала все більш популярною як ефективна альтернатива традиційним методам очищення молочних стічних вод. Вона дозволяє видаляти тверді частинки, колоїди, білки, жири та інші забруднювачі з високою селективністю, зменшуючи навантаження на подальші етапи очищення. Крім того, мембранні процеси забезпечують більш стабільну якість очищених стоків, скорочують споживання хімічних реагентів і енергії, а також сприяють повторному використанню води в технологічних циклах молочних заводів, що робить їх особливо привабливими для підприємств, що прагнуть до сталого виробництва та зниження екологічного навантаження.

12.2.4. Застосування мікрофільтрації, ультрафільтрації, нанофільтрації та зворотного осмосу в процесах розділення, концентрування та очищення молочних стічних вод

Ці мембранні процеси надають численні переваги, серед яких скорочення кількості етапів технологічного процесу, збереження якості кінцевого продукту з мінімальними втратами аромату та поживних речовин, підвищена гнучкість у роботі та зниження енергоспоживання. Інтеграція передових технологій, включно з мембранними методами, у систему очищення молочних стічних вод дозволяє досягти більш високої ефективності, водночас підвищуючи екологічну стійкість молочної промисловості. Використання таких інноваційних підходів є ключовим для зменшення забруднення водних ресурсів, їх раціонального використання та забезпечення виробництва безпечних, якісних і екологічно чистих молочних продуктів. Подальші дослідження та розробки у цій сфері залишаються критично важливими для вдосконалення технологій і розширення їх практичної застосовності.

У міру розширення молочної промисловості зростає обсяг утворюваних відходів, що створює нагальну потребу в їх ефективному та безпечному поводженні. Управління відходами є серйозною проблемою на глобальному рівні, оскільки зростання промислового виробництва та урбанізація ускладнюють процес очищення та утилізації, потребуючи значних фінансових

витрат. Водночас сучасний підхід до відходів розглядає їх не лише як небезпечне навантаження, а як потенційний ресурс. Концепція перетворення відходів на корисні продукти викликає значний науковий інтерес, оскільки сприяє одночасно соціальній та екологічній стійкості. Сучасні дослідження у цій сфері зосереджені на відновленні цінних ресурсів з молочних відходів і стічних вод, включаючи одноклітинний білок, біодобрива, енергію та різноманітні біопродукти, що дозволяє перетворювати проблему відходів на можливість економічного та екологічного розвитку.

12.3. Вплив молочних відходів на довкілля та форми життя

Відходи молочної промисловості чинять негативний вплив на якість повітря, води та ґрунту. При скиданні стічних вод у громадську каналізацію вони ускладнюють проведення вторинної очистки через низьку здатність до осідання осаду та складність інших операцій у муніципальних очисних спорудах. Часто це пов'язано з утворенням грибка у стічних водах або появою ниткоподібного слизу, який формує бактеріальні колонії, що додатково погіршує ефективність очистки.

Тверді відходи. Повноцінний молокозавод, який щодня переробляє близько 5 млн літрів молока, виробляє приблизно 200–350 кг осаду. Загалом мул поділяють на дві великі категорії: хімічний осад та біологічний осад. Він містить як органічні речовини, здатні до розкладу, так і тверді компоненти, що не піддаються біологічному перетворенню. Кількість утвореного мулу зростає зі збільшенням обсягу стічних вод, що ускладнює його обробку та утилізацію, оскільки він становить близько 60% загальної вартості експлуатації очисних споруд. Часто шлам, що утворюється молочною промисловістю, просто розкидають поблизу через високі витрати на транспортування, що з часом призводить до накопичення шкідливих речовин у навколишньому середовищі. Це підкреслює необхідність пошуку альтернативних методів ефективної та безпечної утилізації осаду.

12.4. Сучасні технології обробки відходів молочного виробництва

Поводження з молочними відходами в різних країнах значно відрізняється залежно від національних норм і законодавчих вимог. У світовій практиці застосовуються різні методи обробки таких відходів, включаючи фізичні, хімічні та біологічні підходи, що дозволяють зменшувати шкідливий вплив на навколишнє середовище та одночасно відновлювати корисні ресурси.

Фізико-хімічні методи. У різних країнах розроблено низку підходів до очищення стічних вод молочної промисловості, при виборі яких враховуються капітальні та експлуатаційні витрати, а також необхідність доведення стічних вод до нормативів безпеки та екологічності. До основних етапів очищення зазвичай відносять скринінг, коагуляцію, флотацію розчиненого повітря та адсорбцію. Крім того, у практику впроваджуються передові технології, які дозволяють замінити енерговитратні традиційні методи, підвищуючи ефективність процесу та зменшуючи вплив на навколишнє середовище.

Біологічні процеси. Біологічні методи очищення молочних відходів вважаються найперспективнішими серед існуючих технологій. Вони включають як аеробні, так і анаеробні підходи, серед яких водно-болотні угіддя, крапельні фільтри, реактори з псевдозрідженим шаром, анаеробні мулові матраци з висхідним потоком, реактори з резервуаром та повним перемішуванням, біологічні реактори з рухомим шаром, послідовні реактори періодичної дії та процес активованого мулу. Ці технології широко застосовуються у всьому світі та заслуговують на увагу через свою ефективність і екологічну безпеку.

Водно-болотні угіддя. Системи водно-болотних угідь (wetlands) ефективно використовують рослинність і мікроорганізми ризосфери для видалення органічного навантаження зі стічних вод. Головна перевага цієї технології полягає в її екологічності: вона не потребує постійного моніторингу, має низькі капітальні витрати та мінімальні експлуатаційні витрати. Однак основним обмеженням є те, що очищені стоки не можна скидати безпосередньо в каналізацію – їх зазвичай застосовують для зрошення. Завдяки цьому система

часто розглядається як технологія нульового розряду, що мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище.

Аеробні процедури. Процес з активним мулом є одним із найбільш ефективних методів зменшення органічних речовин у стічних водах. Особливо перспективним є використання модифікованого аеробного гранульованого мулу, який значно перевищує характеристики звичайного мулу завдяки підвищеній стійкості до ударів, меншій токсичності та покращеній здатності до осідання. Крім того, він ефективно сприяє відновленню біомаси, що підвищує продуктивність біологічних процесів очищення.

Реактор періодичного секвенування (Sequencing Batch Reactor, SBR) складається з серії резервуарів, які працюють циклічно для видалення небажаних сполук. Ця система дозволяє регулювати аеробні та анаеробні фази, що підвищує ефективність очищення та контроль над органічними та поживними речовинами у стічних водах.

Секвенування (від англ. sequence – послідовність) – метод визначення первинної структури нерозгалужених біополімерів (ДНК, РНК, білків та вуглеводів),

Ємності реактора періодичної дії заповнюються у різний час і функціонують як комбінований реактор, де процеси аерації та осадження відбуваються у межах однієї ємності. Це усуває потребу в окремому відстійнику, оскільки вирівнювання, аерація та осадження проходять одночасно. Завдяки цьому система стає більш економічною, зменшуючи капітальні витрати, і дозволяє обробляти стічні води з високим вмістом твердих речовин.

Обертальні біологічні контактори (Rotating Biological Contactors, RBC) складаються з серії дисків, прикріплених до валу. Для досягнення ефективного видалення забруднювачів зазвичай застосовують багатоблокову систему з 3–6 наборів дисків. Однак через високий вміст жиру та олій у молочних стічних водах на дисках може формуватися щільна біоплівка, що іноді призводить до її зрізання і втрати частини біомаси, що, в свою чергу, знижує продуктивність системи.

Анаеробна обробка. Порівняно з аеробною обробкою, анаеробна система більш економна, оскільки не потребує додаткової енергії, а метан, що утворюється під час зброджування, можна використовувати як джерело енергії. У таких системах утворюється менше мулу, який має кращу якість, ефективно знищуються патогени, а висока біологічна активність і вологість осаду сприяють отриманню стабільної біоенергії.

Анаеробний осад з висхідним потоком широко застосовується для очищення молочних стічних вод: стоки проходять крізь шар мулу, газ відділяється сепаратором, вода без біомаси видаляється, а мул осідає на дні. Секвенційний анаеробний реактор періодичної дії працює у чотири етапи – подача, реакція, відстоювання та вилучення – що дозволяє поєднувати обробку та відстоювання води. Головним обмеженням є низька ефективність при перевантаженні.

Обидві системи формують осад, який майже не має запаху і багатий органікою, тому перед утилізацією його зазвичай стабілізують у метантенку. Зневоднений осад можна використовувати як компост, ґрунт або відправляти на сміттєзвалище, але неправильне розповсюдження може призвести до накопичення відходів, евтрофікації та забруднення підземних вод.

Евтрофікація – збагачення водойм біогенними елементами, що супроводжується знищенням продуктивності водойми. Евтрофікація може бути наслідком природного старіння водойми, внесення добрив або забруднення стічними водами.

Таким чином, стає важливим знайти інші варіанти обробки та утилізації молочного осаду.

Інтеграція технологій. Звичайні біологічні процеси часто виявляються недостатніми для очищення стічних вод із складними органічними та неорганічними сполуками через обмежену здатність мікроорганізмів їх метаболізувати. Також традиційні електрохімічні методи мають недоліки, зокрема високі енергетичні витрати. Біоелектрохімічні системи поєднують біологічні та електрохімічні процеси, що дозволяє одночасно обробляти відходи

та виробляти електроенергію, водень та інші цінні продукти, що робить їх важливими у концепції циркулярної економіки. Вони здатні вирішувати дві ключові проблеми: виробництво енергії та зменшення забруднення.

У цих системах електрохімічно активні мікроби окислюють органічні речовини на аноді, внаслідок чого відбувається перенесення електронів від анода до катода. Енергетична ефективність залежить від кількості електронів, накопичених і переданих до анода. Існує кілька типів біоелектрохімічних систем: мікробні електролізні елементи, мікробні паливні елементи, мікробні опріснювальні елементи, ферментативні біопаливні елементи, мікробні реверс-електродіалізні комірки, мікробні сонячні батареї та мікробний електросинтез. Найбільш дослідженими та ефективними є мікробні паливні елементи.

Мікробна паливна комірка – це система, де мікроби в анодній частині виробляють електроенергію шляхом окислення органічних речовин у стічних водах. У процесі мікроби генерують електрони та протони. Електрони передаються на анод, а протони проходять через протоніообмінну мембрану до катодної камери, де взаємодіють із електронами та киснем, утворюючи воду. Такий процес одночасно забезпечує очищення води та виробництво корисної енергії.

12.5. Молочні відходи до продуктів із доданою вартістю

Молочні відходи характеризуються високим вмістом органічних речовин, що робить їх цінною сировиною для біотехнологічних процесів і отримання різних корисних сполук. На їх основі можна виробляти широкий спектр продуктів, які знаходять застосування у харчовій, сільськогосподарській, нафтовій, косметичній та фармацевтичній промисловості. Крім того, переробка молочних відходів має важливе значення для екологічної безпеки та сталого розвитку, оскільки дозволяє зменшити навантаження на довкілля, раціонально використовувати ресурси та впроваджувати принципи циркулярної економіки.

Одноклітинний білок і біодобриво. Одноклітинні білки – це висушена біомаса бактерій, дріжджів, грибів або водоростей, що відзначається високим

умістом протеїну та поживною цінністю. Вони мають переваги над традиційними рослинними й тваринними білками, оскільки їх виробництво не залежить від сезону чи кліматичних умов і може здійснюватися протягом усього року. Осад, що утворюється в молочній промисловості, досліджували як поживне середовище для культивування бактерій роду *Rhizobium*, використовуючи різні його концентрації для оцінки ефективності росту мікроорганізмів.

Біополімер і біосурфактант. Біополімери – це природні полімерні сполуки, що синтезуються живими організмами. Одним із важливих представників є екзополісахарид ксантанова камедь, яку продукують бактерії роду *Xanthomonas*. Це цінний промисловий біополімер, що характеризується високою в'язкістю навіть у низьких концентраціях завдяки розгалуженій молекулярній структурі. Крім того, він має велику молекулярну масу та зберігає стабільність у широкому діапазоні pH, що робить його універсальним і затребуваним у різних галузях.

Біосурфактанти – це молекули, що мають у своїй структурі як гідрофільні, так і гідрофобні хімічні групи та зменшують поверхневий натяг рідин. Багато мікробів можна використовувати для виробництва біоповерхнево-активних речовин. Біосурфактанти використовуються в харчовій, нафтовій, косметичній та фармацевтичній промисловості та сільському господарстві.

Біопаливо. Відходи молочної промисловості – як стічні води, так і мул — є перспективним субстратом для біотехнологічного виробництва водню (H_2) та метану (CH_4). У пошуках альтернативних джерел енергії молочні відходи також можуть ефективно використовуватися як субстрат у мікробних паливних елементах для генерації електроенергії.

Сталий розвиток залишається серйозним викликом для країн, що розвиваються. У цьому контексті формування циркулярної біоекономіки сприяє економічному зростанню, збереженню довкілля та соціальній справедливості для нинішніх і майбутніх поколінь. Циркулярна біоекономіка ґрунтується на раціональному використанні природних ресурсів і сталому управлінні ними.

Біоелектрохімічні системи можуть бути інтегровані в існуючі очисні споруди для одночасного вирішення проблем енергозабезпечення та забруднення довкілля. Однак їх широкомасштабне впровадження поки що обмежується високими капітальними витратами, експлуатаційними труднощами, відносно невисокою енергетичною віддачею та змінною ефективністю зниження хімічної потреби в кисні (ХПК). Перспективним напрямом є застосування мікробних консорціумів, що працюють у синергії, підвищуючи ефективність переробки молочних відходів. Молочні відходи характеризуються високим вмістом органічних речовин, що зумовлює екологічні ризики при їх неправильному поводженні. Водночас вони можуть слугувати сировиною для масштабного виробництва біомаси, біополімерів і енергії за умови інтеграції сучасних технологій переробки. Інтегровані системи, зокрема біоелектрохімічні установки в поєднанні з іншими методами очищення, відкривають можливості реалізації концепції «відходи як ресурс». Біопереробка молочних відходів із використанням новітніх підходів до відновлення ресурсів є важливим складником досягнення екологічної та економічної сталості галузі. Прикладом сучасного технологічного рішення є системи очищення стічних вод, що утворюються під час процесів CIP (Cleaning in Place) на молочних підприємствах. Автоматична статична система CIP від INOXPA розроблена для полегшення очищення на середніх і великих молочних підприємствах.



Рис. 60. Система очищення CIP для молочної промисловості [61]

INOXPA, Іспанія, є світовим лідером у виробництві та дистрибуції компонентів і обладнання для обробки рідин з нержавіючої сталі для харчової, косметичної та фармацевтичної промисловості.

Система складається з основної рами з робочими вузлами, ємностей для води та хімічних реагентів, а також мережі з'єднувальних трубопроводів. Наявність моделей, що підтримують одну або дві лінії мийки, дає змогу адаптувати конфігурацію відповідно до виробничих потреб. Конструкція передбачає використання нержавіючої сталі AISI 316L для резервуарів із хімічними засобами та AISI 304 – для водяних ємностей, що гарантує довговічність обладнання та дотримання гігієнічних вимог. До ключових складових належать насоси, трубчасті теплообмінники, електромагнітні витратоміри й панелі керування із сенсорним дисплеєм, які забезпечують високу ефективність роботи. Додатково система оснащена манометрами, програмами дезінфекції та сучасними засобами комунікації.

Переваги системи: адаптація під конкретні виробничі вимоги; результативне зниження мікробного навантаження та видалення забруднень; легке впровадження в уже існуючу інфраструктуру; інтуїтивне керування через сенсорний інтерфейс; надійна конструкція з матеріалів високої якості. Підтримання належного рівня гігієни у харчовій галузі, зокрема під час виробництва молочної продукції, має критичне значення. Недостатньо ефективне очищення може стати причиною контамінації, втрат сировини та погіршення показників якості готової продукції.

Питання для самоконтролю

1. Як молочна промисловість впливає на забруднення води та якість води?
2. Які переваги та недоліки має традиційне очищення молочних стічних вод?
3. Як у мембранних процесах працюють тупикові та перехресні потоки?
4. Що є рушійною силою мембранних процесів?
5. В чому полягає сенс попередньої обробки стічних вод перед застосуванням мембранної технології?

6. Яку роль у технології очищення стічних вод молочного виробництва відіграє процес коагуляції?
7. Які коагулянти застосовують у процесах очищення стічних вод молочного виробництва?
8. Що таке промотор турбулентності і його зв'язок з 3D-друком?
9. За рахунок яких ефектів технологія мембранної сепарації набула популярності в процесах очищення молочних стічних вод?
10. Що представляють собою тверді відходи молочного виробництва?
11. Які фізико-хімічні методи застосовують у процесах очищення стічних вод?
12. Що таке анаеробна обробка стічних вод молочного виробництва?

Рекомендована навчальна література

1. Власенко В. В., Головка М. П., Семко Т. В., Головка Т. М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
2. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ: Світ книг, 2021. 290 с.
3. Кузьмін Є. С. Ефективність інвестицій підприємств молочної промисловості: монографія. Київ : ІАЕ, 2015. 254 с.
4. Перцевий Ф. В., Терешкін О. Г., Гурський П. В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. За ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
5. Савченко О. А., Грек О. В., Красуля О. О. Актуальні питання технології молочно-білкових концентратів : теорія і практика : монографія. Київ : Компринт, 2015. 293 с.
6. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
7. Теличкун В. І., Гавва О. М., Теличкун Ю. С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
8. Поліщук Г. Є., Грек О. В., Скорченко Т. А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2013. 502 с.
9. Цехмістренко С. І., Кононський О. І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.
10. Власенко В.В., Семко Т.В., Шаблій Л.М., Лавицький В.П. Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 330 с. Режим доступу: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/11736.pdf>

Розділ 13. СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ОБЛАДНАННІ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА

13.1. Матеріали, що використовуються у виробництві обладнання для переробки молока

Молоко є складною дисперсною системою емульсійного типу, що приблизно на 87 % складається з води. Інші 13 % формують жири, мінеральні сполуки, вітаміни, ферменти та інші біологічно активні компоненти. Свіже молоко створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, які можуть стати джерелом забруднення готової продукції. У зв'язку з цим виробництво молока та молочних продуктів регламентується особливо жорсткими санітарно-гігієнічними вимогами. Нормативні положення охоплюють процес доїння, правила первинної обробки, внесення добавок, вимоги до технологічного обладнання та транспортних ємностей, якими молоко доставляється з господарств на переробні підприємства. Під час зберігання й транспортування молоко безпосередньо контактує з внутрішніми поверхнями обладнання. Матеріали, що застосовуються для виготовлення такого обладнання, добирають з урахуванням комплексу експлуатаційних характеристик: механічної міцності, пружності, твердості, ударної в'язкості, зносостійкості, корозійної та втомної стійкості, технологічності обробки, доступності та економічної доцільності.

Якість і вартість матеріалів є ключовими факторами при проектуванні, виготовленні, експлуатації та обслуговуванні технологічного обладнання. При їхньому виборі керуються принципами металургії та матеріалознавства, щоб забезпечити надійність і безпеку обладнання. Обладнання та машини для молочних заводів мають відповідати низці вимог: вони не повинні вступати в реакцію з молоком та молочними продуктами, бути стійкими до корозії та мати достатній захист від механічних пошкоджень. Труби, фітинги, клапани та інші компоненти технологічних ліній відіграють важливу роль у збереженні якості продукції та впливають на загальну вартість будівництва заводу.

Матеріали, що застосовуються у виробництві молочного обладнання, також критично важливі для дотримання санітарних норм і забезпечення гігієни.

Умовно їх можна розділити на частини обладнання, які контактують із молоком та молочними продуктами, і ті, що не контактують. Серед найпоширеніших використовуються чавун, сталь, нержавіюча сталь, алюміній, пластик, скло та інші матеріали. Особливу увагу приділяють тому, щоб металеві частини не забруднювали продукцію. Основна вимога до матеріалів полягає у класифікації обладнання за його впливом і властивостями: хімічними, фізичними та механічними характеристиками. Це дозволяє забезпечити безпечну, ефективну та довговічну роботу молочного обладнання.

Хімічні властивості матеріалів, такі як їхній склад і структура, дозволяють оцінити міцність і ефективність різних методів термічної обробки. Фізичні характеристики матеріалів визначають їх потенційні застосування, зокрема масу, теплопровідність та здатність до теплообміну. Механічні властивості відіграють ключову роль у проектуванні та виготовленні технологічного обладнання. Міцність матеріалу характеризує його здатність протистояти зовнішнім силам, включно з напруженнями розтягування та стиснення. Жорсткість визначає опір деформації, пластичність – здатність до подовження без руйнування, а твердість – стійкість поверхні до подряпин і зношування. Конструкційні матеріали для молочного обладнання не повинні вступати в реакцію з молоком або молочними продуктами та повинні забезпечувати довговічність устаткування. Враховуються такі фактори, як інтенсивне зношування, коливання температур під час роботи, вплив води, пари, розсолів, холодоагентів, а також використання миючих і дезінфікуючих засобів – матеріали мають бути достатньо стійкими та гнучкими. Оскільки санітарні вимоги в молочній промисловості є критично важливими, досягти їх можна лише за умови грамотного технічного проектування обладнання та ретельного вибору відповідних матеріалів.

Контактний матеріал для молочного обладнання повинен відповідати ряду важливих вимог. Зовнішня поверхня має бути пилонапроникною та стійкою до корозії, а внутрішня контактуюча поверхня – гладкою та полірованою. Мінімальна відстань між основою обладнання та підлогою повинна становити не менше 100 мм, а сама основа забезпечуватися кульовими ніжками та не мати

гострих кутів і країв. Вертикальні мертві зони неприпустимі за умови правильного нахилу до точок дренажу, а зварні шви мають бути ретельно відшліфовані та відполіровані, особливо це стосується вхідних і випускних фітінгів санітарного типу. Недоліки обладнання з металів та їх сплавів, таких як алюміній, мідь, олово чи залізо, можуть проявлятися у вигляді стороннього присмаку, зміни кольору матеріалу, корозії посудин та утворення небезпечних хімічних сполук на поверхнях, що контактують із молоком і молочними продуктами. Натомість нержавіюча сталь демонструє високу стійкість до корозії, не змінює смак свіжого молока та дозволяє молочному бізнесу швидко та безпечно розширюватися.

Конструкційні матеріали в основному класифікуються як метали та їх сплави, такі як залізо, сталь, мідь, алюміній тощо та неметали, такі як скло, гумові, пластмасові та ін.

13.1.1. Метали. Чавун і сталь

Метали широко застосовуються у виробництві харчового обладнання та є основним матеріалом для виготовлення його конструктивних елементів. Залежно від складу їх поділяють на чорні та кольорові метали. У сучасних технологіях розробляють також метали, до складу яких введені антибактеріальні речовини, що підвищують гігієнічні властивості поверхонь. Чорні метали, що містять залізо поряд з іншими елементами, відрізняються між собою міцністю, оброблюваністю та іншими технічними характеристиками, що враховується при проєктуванні обладнання.

Чавун і сталь. Коване залізо є найчистішою формою заліза з мінімальним вмістом вуглецю та інших домішок. Воно легко обробляється та зварюється, що робить його придатним для високотемпературних застосувань, таких як лінії подачі пари, нагрівальні змійовики та вихлопні лінії.

Чавун містить від 2,5 до 4 % вуглецю і легко відливається у будь-які форми, але важко піддається обробці та зварюванню. Він зазвичай використовується для корпусів, литих частин та допоміжних елементів молочного та харчового

обладнання і не контактує безпосередньо з молоком. Контакт заліза з молочними солями або молочною кислотою може призводити до утворення гірких або навіть токсичних сполук.

Вуглецева сталь – це сплав заліза з вмістом вуглецю від 0,06 до 1,5 %, де вуглець зустрічається у формі карбіду заліза, підвищуючи твердість і міцність матеріалу. З ростом вмісту вуглецю підвищується твердість та міцність сталі, але знижується її здатність до зварювання. Для коригування властивостей додають незначні кількості фосфору, сірки, кремнію та марганцю.

М'яка сталь (0,06–0,15 % вуглецю) та сталь із вмістом 0,15–0,45 % вуглецю широко використовуються для виготовлення посудин, трубопроводів і арматури завдяки простоті обробки та виробництва. Середньовуглецева сталь (0,45–0,8 % вуглецю) застосовується для виготовлення валів, пружин та болтів, тоді як високовуглецева (0,8–1,5 % вуглецю) використовується для ріжучих інструментів, таких як леза, пилки та зубила. Вуглецева сталь стійка до безводних мінеральних кислот і лужних розчинів, проте чутлива до вологи та органічних кислот.

Легована сталь містить нікель, хром, кремній, марганець, молібден, титан та інші елементи, що підвищують зносостійкість, корозійну стійкість і покращують електричні та магнітні властивості. Вона використовується для теплообмінників, молокопроводів та іншого молочного обладнання. Сплави заліза, що застосовуються для харчової упаковки, відносяться до категорії вуглецевої сталі з вмістом вуглецю менше 1 %.

Матеріали, що використовуються у виробництві молочного обладнання, відіграють ключову роль у забезпеченні якості продукції, санітарної безпеки та довговічності обладнання. Вибір матеріалу визначається його хімічними, фізичними та механічними властивостями: стійкістю до корозії, міцністю, жорсткістю, пластичністю, твердістю та здатністю протистояти зношуванню. Належний вибір конструкційних матеріалів, таких як нержавіюча сталь, чавун, вуглецева та легована сталь, а також правильне проектування обладнання,

дозволяє уникнути негативного впливу металів на молоко, сторонніх присмаків, утворення токсичних сполук та забезпечує дотримання гігієнічних норм.

Ключовими вимогами до контактних поверхонь є гладкість, полірованість, відсутність мертвих зон, правильний нахил до дренажу та відповідність санітарним стандартам. Використання сучасних матеріалів з підвищеною стійкістю до корозії і, за потреби, антибактеріальними властивостями, дозволяє забезпечити ефективну і безпечну роботу молочного обладнання, знижує витрати на обслуговування та сприяє стабільному виробництву високоякісної молочної продукції.

13.1.2. Нержавіюча сталь

Нержавіюча сталь – це сталевий сплав, що містить залізо, хром і нікель, і є оптимальним матеріалом для використання в молочній промисловості. Сталь із вмістом хрому понад 10,5 % вважається нержавіючою. Високий вміст хрому (не менше 20 %) забезпечує стійкість до окислення та утворення накипу, що послужило основою для створення жароміцних сталей для харчової, молочної, хімічної промисловості, фармацевтики та виробництва напоїв.

Нержавіючі сталі класифікуються залежно від хімічного складу, що визначає їх здатність протистояти різним типам корозії. Найпоширеніші групи: аустенітні, феритні, мартенситні, дуплексні та супераустенітні марки. Молібден, нікель і азот у складі сплаву підвищують корозійну стійкість, а вуглець впливає на якість зварювання. Серії нержавіючої сталі за стандартом AISI включають: 200 (аустеніт з високим вмістом марганцю), 300 (аустеніт), 400 і 500 (феритні та мартенситні). Мартенситні та феритні сталі магнітні, а мартенситні піддаються термічному зміцненню та складні у виготовленні. Аустенітна сталь, особливо серії 300, є найбільш поширеною в молочній промисловості.

Аустенітна нержавіюча сталь має високий вміст хрому та нікелю (наприклад, сталь 18/8 містить 18 % Cr і 8 % Ni), є немагнітною, пластичною, стійкою до корозії та легко обробляється. Основною вразливістю цього типу сталі є хлоридне корозійне розтріскування під напругою при температурах понад

55 °C. Холодна деформація може підвищувати твердість матеріалу, тоді як термічна обробка на неї не впливає.

Завдяки своїй стабільності при високих і низьких температурах, здатності протистояти корозії та добрій зварюваності, аустенітна нержавіюча сталь широко використовується у молочному виробництві. До її застосувань належать:

- ✓ Технологічне обладнання: пастеризатори, гомогенізатори, сепаратори, декантери, металодетектори, теплообмінники, змішувальні та технологічні баки;
- ✓ Резервуари та формоутворююче обладнання: силосні резервуари, автоцистерни, доїльні апарати, бідони, охолоджувачі молока;
- ✓ Аксесуари та допоміжні елементи: арматура, клапани, насоси, лабораторні інструменти.

Таким чином, аустенітна нержавіюча сталь є найбільш надійним і гігієнічно безпечним матеріалом для молочного виробництва, забезпечуючи довговічність обладнання та збереження якості молочних продуктів.

Аустенітні сплави нержавіючої сталі нижчого класу, наприклад серій AISI 100 і 200, зазвичай не рекомендуються для використання у молочному та харчовому обладнанні через недостатню стійкість до корозії та гігієнічні обмеження. Сталь AISI 302 застосовується переважно для покращення зовнішнього вигляду харчового обладнання, але не для контактних елементів, що працюють із молоком або корозійними речовинами.

Найпоширенішою для виробництва молочного обладнання є сталь AISI 304, яка використовується для виготовлення труб, фітінгів, силосів, резервуарів та інших ємностей. Її склад включає 18 % Cr і 8 % Ni, що забезпечує високу стійкість до корозії та достатню міцність для широкого застосування. Сталь AISI 303 застосовується обмежено, а сплави, що містять свинець, мідь або інші шкідливі компоненти, заборонені відповідно до санітарних норм.

Приблизно половину світового виробництва нержавіючої сталі становить AISI 304. В Україні в харчовому секторі особливо популярні марки 12X18H10T (аналог AISI 321) та 08X18H10 (аналог AISI 304), причому остання активно

використовується завдяки доступній вартості та надійним експлуатаційним характеристикам.

Нержавіюча сталь AISI 316 містить 2–3 % молібдену, що підвищує стійкість сплаву до корозії та покращує властивості при високих температурах, що особливо важливо під час зварювання. Вона використовується у виробництві пластин пластинчастих теплообмінників, резервуарів та труб випарників, де потрібна підвищена стійкість до корозії. Сплави 304L і 316L мають знижений вміст вуглецю (близько 0,03 %), що дозволяє зварювати товстіші листи нержавіючої сталі, хоча їхня механічна міцність дещо нижча за основні марки (304, 316). Для підвищення міцності використовуються марки з більшим вмістом вуглецю, наприклад 304H або 316H. Таким чином, змінюючи хімічний склад, можна модифікувати властивості нержавіючої сталі і наближати характеристики нижчого класу до властивостей вищого.

Феритна нержавіюча сталь (серія AISI 400, наприклад 410, 430) містить 16–18 % хрому та близько 0,12 % вуглецю. Вона магнітна, термічно зміцнена та стійка до корозії, але має нижчу ударну в'язкість при низьких температурах. Феритні марки застосовуються у середовищах з сильним окисленням, наприклад при роботі з азотною кислотою, і відносно стійкі до дії хлоридів.

Мартенситні нержавіючі сталі мають високий вміст вуглецю, що підвищує їх твердість і міцність, але ускладнює формування та зварювання. Термічна обробка може додатково зміцнювати їх. Наприклад, AISI 420 містить мінімум 0,15 % вуглецю і використовується для виготовлення лез ножів.

Дуплексна нержавіюча сталь поєднує властивості аустеніту та фериту, що забезпечує одночасно високу міцність і пластичність. Вона підходить для харчової промисловості та застосовується у дуже корозійних умовах, наприклад у виробництві сирів. Дуплексні марки, такі як AISI 2205 і 2304, містять 22–23 % хрому та близько 3 % молібдену, демонструючи стійкість до корозії, подібну до аустенітної сталі, але з вищою механічною міцністю.

Супераустенітні нержавіючі сталі витримують надзвичайно суворі умови. Вони містять значну кількість хрому, нікелю, молібдену та азоту при низькому

вмісті вуглецю. Приклади – AISI 904L (понад 4 % молібдену) і AISI 254 SMO (понад 6 % молібдену). Такі сплави забезпечують виняткову стійкість до корозії, але їх не слід використовувати у водних сольових розчинах.

Додатково існують спеціальні нержавіючі сталі з антибактеріальними покриттями (Ag⁺) та з додаванням діоксидів титану для ріжучого обладнання, що підвищує гігієнічні властивості поверхонь у харчовій промисловості.

13.1.3. Алюміній і сплави

Алюміній – це легкий метал із питомою вагою 2,7 г/см³, температурою плавлення 658 °С та міцністю на розрив близько 150 МПа. Завдяки своїй легкості, корозійній стійкості та добрій теплопровідності, він широко використовується у виробництві молочних бідонів, відер для молока, футеровки резервуарів, цистерн та іншого обладнання. Алюміній легкий, нерозчинний у молоці, не має запаху, добре проводить тепло і легко формується у різні конструкції, що робить його одним із основних матеріалів молочної промисловості.

Недоліки металу включають його проникність, що ускладнює зварювання, а також низьку стійкість до стирання, що може призводити до появи сірих плям на поверхні. Для підвищення стійкості до корозії та зношування застосовують анодування — електрохімічну обробку, під час якої деталі занурюються в електролітичну ванну з сірчаною, хромовою або щавлевою кислотою для утворення стабільного безбарвного захисного шару.

Завдяки високій теплопровідності (208,8 Вт/м·К) і стабільності міцності при низьких температурах (до приблизно -250 °С), алюміній застосовується в обладнанні для заморожування молока та харчових продуктів.

Алюмінієві сплави містять легуючі елементи, такі як мідь, магній, марганець, кремній і нікель. Додавання цих елементів перетворює м'який метал на більш твердий і міцний, при цьому зберігаючи його легку вагу. Основні сплави — дюралюміній, У-сплав, магналій і гіндалій. Дюралюміній має вищу міцність, ніж чистий алюміній, але його стійкість до корозії дещо нижча.

Слід зазначити, що алюміній може потрапляти у молоко та молочні продукти під час виробництва або через забруднення обладнання. Використання алюмінієвого посуду для обробки і зберігання молока може підвищувати вміст металу у продукті, причому рівень вимивання залежить від якості ємності, рН середовища, умов обробки та наявності комплексоутворювачів.

13.1.4. Мідь і сплави

Мідь є одним із найпоширеніших кольорових металів у промисловості. Вона червонувато-коричневого кольору, м'яка, пластична і легко обробляється. Питома вага міді становить 8,9 г/см³, температура плавлення — 1083 °С, а міцність на розрив приблизно 360 МПа. Мідь є відмінним провідником електрики, тому широко застосовується у машинобудуванні та виробництві електротехнічних елементів.

Мідь також використовується у виготовленні сплавів з оловом, цинком, нікелем та алюмінієм. Латунь, мідно-цинковий сплав, є найпоширенішим, проте небажаним у молочному виробництві через вплив на смак продуктів. Бронзи — це сплави міді та олова, які після покриття неокисленими металами (нікель, хром) застосовуються у деякому молочному та харчовому обладнанні.

Мідь може вступати у реакцію з молоком. Кисле середовище або лужні розчини під час обробки спричиняють корозію, що робить мідь непридатною для великомасштабного виробництва молочних продуктів. Контакт молока з міддю може призводити до появи плям у продуктах та утворення зеленого продукту корозії, який є шкідливим для людини. Іони міді, що утворюються у молоці, під дією сонячного світла або повітря каталізують гідроліз молочного жиру, що призводить до неприємного смаку, особливо у продуктах із високим вмістом жиру. Солі міді мають зеленуватий колір, різкий смак і є токсичними при взаємодії з молочною кислотою.

З огляду на це, мідь у молочній промисловості використовується лише для певних елементів обладнання з подальшим лудінням або покриттям захисними шарами. Вона застосовується у виготовленні відер для молока, охолоджувачів,

чанів, сітчастих фільтрів, трубопровідної арматури, молочних насосів, пастеризаторів та аналогічних виробів.

13.1.5. Олово

Олов'яне покриття використовується для захисту металевих поверхонь, однак воно не дуже стійке до стирання. Жерсть – дешевший і важчий за алюміній матеріал, який придатний для вторинної переробки. Вона має магнітні властивості, що сприяє сегрегації, легко декорується, непроникна для вологи та газів і витримує високі температури під час обробки продукту. Завдяки цим властивостям жерсть підходить для упаковки стерильних продуктів, таких як напої тривалого зберігання.

Олов'яне покриття застосовується на жерстяних листах товщиною 0,15–0,49 мм і покриває обидві сторони поверхні, що контактує з молоком та молочними продуктами. Хоча олово частково розчиняється у молоці, воно не забруднює його та вважається безпечним. Через м'якість матеріалу та низьку довговічність покриття (сильне стирання через корозію та механічні дії), його використовують лише як захисний шар, а повторне лудіння є простою операцією.

Жерстяні контейнери активно застосовуються в харчовій промисловості для пакування молочних виробів. Наприклад, у Індії традиційні кондитерські вироби на основі молока – хоа, расоголла, гулабджамун, расомалаї, панір, чхана та топлене масло – упаковують у жерстяні контейнери. Для топленого масла зазвичай використовуються лаковані жерстяні банки об'ємом від 1 до 15 л, що забезпечує збереження якості продукту та можливість експорту.

13.1.6. Нікель і сплави

Нікель широко використовується для покриття поверхонь обладнання, що контактує з молоком та молочними продуктами. Зокрема, його застосовують для чанів пастеризації, охолоджувачів, теплообмінників та інших технологічних ємностей. Ні-сплави також знайшли застосування у морозильних камерах

фрізерів для морозива, а також при виготовленні циліндрів і плунжерів гомогенізаторів.

Нікель характеризується високою міцністю, особливо у сплавах із залізом, що робить матеріал довговічним і стійким до механічних навантажень. Він стійкий до корозії у багатьох середовищах і не піддається руйнуванню під дією лужних миючих розчинів. Нікель лише частково розчиняється у молоці, тому незначно впливає на його смак і є слабо токсичним для людини. Завдяки цим властивостям він значно перевищує за довговічністю луджені або оловорозчинні покриття.

Однак нікель має певні обмеження. По-перше, він дорожчий за хромовані чи олов'яні покриття, що робить його менш економічним для масового виробництва. По-друге, цей метал може реагувати з молочною кислотою, тому необхідно контролювати умови його експлуатації. Нарешті, обробка та виготовлення деталей із нікелю складніші через його високу міцність і твердість.

Таким чином, нікель та його сплави використовують у тих випадках, коли потрібна висока механічна міцність, довговічність і стійкість до корозії, навіть за рахунок більшої вартості матеріалу.

13.1.7. Хром і його сплави

Хром і його сплави широко застосовуються для покриття різного технологічного обладнання. Особливо часто вони використовуються на поверхнях, що контактують із молоком та молочними продуктами, оскільки хром не забруднює продукт і не впливає на його смакові якості.

Цей метал відзначається високою стійкістю до корозії, зокрема до дії кислотних і лужних миючих засобів, що робить його ідеальним для харчової та молочної промисловості.

Найсуттєвішою особливістю хрому є його висока вартість, що обмежує його використання для масових виробничих процесів і робить його економічно доцільним здебільшого для покриттів або у поєднанні з іншими металами.

13.2. Неметалеві матеріали

У молочній промисловості широко застосовуються неметалеві матеріали, такі як скло, гума та пластик, а також деякі спеціальні композитні матеріали. Вони використовуються для виготовлення резервуарів, трубопроводів, прокладок, клапанів, дозувальних систем та інших елементів обладнання, які контактують із молоком та молочними продуктами.

13.2.1. Скло

Скло зазвичай застосовують у тих випадках, коли критично важлива видимість продукту. Наприклад, його використовують у рівнях резервуарів для зберігання молока, оглядових та освітлювальних склах, що дозволяє контролювати обсяг і стан продукту. Через крихкість скляні елементи необхідно додатково захищати зовнішніми трубами або конструкціями з відповідного металу, щоб уникнути розбиття та забезпечити безпечну експлуатацію. У деяких випадках скло застосовують як внутрішню обшивку резервуарів або труб, проте важливо, щоб воно було без тріщин і осколків. У сучасних виробничих умовах рекомендується замінювати скло на прозорі альтернативи, такі як Perspex (поліметилметакрилат) або полікарбонат, які мають більшу ударостійкість і безпечніші для використання в молочній промисловості.

Скло відзначається хімічною інертністю і не реагує з молочними продуктами, що дозволяє зберігати їх смак і якість. Скляні ємності часто використовують для лабораторних досліджень, контролю якості або для зберігання дрібних партій молочних продуктів.

13.2.2. Пластмаси

Пластмаси широко використовуються в молочній промисловості та поділяються на два основні типи: термопласти та термореактивні пластмаси.

Термопласти отримують за допомогою процесу додаткової полімеризації. Завдяки менш розвиненій молекулярній структурі вони стають рідкими при високих температурах і легко кристалізуються при охолодженні. Термопласти

часто чутливі до органічних рідин. До найпоширеніших матеріалів належать політетрафтористий етилен (PTFE), поліетилен, полівінілхлорид (PVC), акрилонітрилбутадієнстирол (ABS), ацетатбутират целюлози та інші. Наприклад, ущільнення валів насосів виготовляють із політетрафтористого етилену.

Термореактивні пластмаси мають у своїй структурі перехресні зв'язки, що зазнають необоротних змін при нагріванні. Вони не підлягають повторній переробці. До них відносяться ємності з армованого волокном пластику, епоксидне скло, скло, армоване поліефіром, пластикові шестерні, фенолформальдегід і еластomers, такі як полібутадієн і поліхлоропрен (неопрен). Епоксидні смоли застосовують як клей для пластикових або металевих частин обладнання, але температура використання не повинна перевищувати 100–180°C.

Пластик використовується для виготовлення труб, гнучких шлангів, пакувальних матеріалів та контейнерів для молочної продукції. Поліпропіленові труби і трубки повинні бути харчової якості, не передавати запахів та мати гладку внутрішню поверхню для зменшення перешкод у русі рідини. Водночас вони менш стійкі до високих температур і тривалого нагрівання. Жирові речовини можуть проникати у поверхню пластику, що може призводити до прогіркання, зміни кольору, розвитку тріщин, бактеріального забруднення та появи молочних плям через виділення пластифікаторів.

Ферментовані молочні продукти, такі як дахі, йогурт, кефір і кумис, зазвичай упаковують у контейнери з міцного полістиролу (HIPS) або поліпропілену для продажу з коротким терміном зберігання. Морозиво найчастіше пакують у багаторазові пластикові контейнери, хоча іноді використовують циліндричні жерстяні банки з припаяними свинцевими кришками. Для демонстраційного продажу морозива, зокрема «Gelato», застосовують багаторазові контейнери з нержавіючої сталі для покращення презентації продукції.

13.2.3. Гума та прокладки

У молочній промисловості найчастіше використовують синтетичні каучуки для виготовлення ущільнень і прокладок. До них належать неопрен, нітрил, бутил, силікон, фтореластомер (Viton) та інші. Ці матеріали не реагують з молоком або молочними продуктами та забезпечують герметичність з'єднань між металевими поверхнями, запобігаючи витоку рідини.

Прокладки повинні поєднувати гнучкість з жиростійкістю та стійкістю до миючих і дезінфікуючих засобів. Тверда гума має міцність на розрив 70–100 МПа та теплопровідність близько 0,4 Вт/м·К. У таких компонентах, як прокладки пастеризаторів, фітинги з нержавіючої сталі, молочні насоси, вершковіддільники, гомогенізатори та діафрагмові клапани, матеріали повинні витримувати певний рівень тепла під час експлуатації.

Різні типи гуми мають різну термостійкість: нітрильний каучук – до 130 °С, бутилкаучук – до 140 °С, EPDM – до 165 °С, силіконова гума – до 175 °С, Viton – до 180 °С. Для фіксації прокладок на місці використовують клеї, спеціальні прокладки та механічні способи кріплення. Важливо дотримуватися технології закріплення, особливо при використанні клею або цементу, щоб забезпечити довговічність в умовах підвищених температур.

Прокладки слід зберігати в холодному та сухому приміщенні та уникати впливу озону, наприклад під час електродугового зварювання, щоб запобігти їх передчасному руйнуванню.

13.2.4. Деревина

У молочній промисловості використання деревини зазвичай не рекомендується через її пористу структуру та схильність до мікробного зараження. Вона найчастіше застосовується як будівельний матеріал або для допоміжних конструкцій, де контакт з харчовими продуктами мінімальний.

Щоб зменшити ризик зараження шкідниками, розвитку цвілі та утворення мікотоксинів, деревину, яка може контактувати з їжею, часто обробляють пестицидами та фунгіцидами. У таких випадках важливо контролювати

залишкові кількості цих речовин у харчовому продукті, щоб забезпечити безпеку споживачів.

Дерев'яні чани, полиці та інші елементи служать природним середовищем для мікробіологічного біорізноманіття, що може позитивно впливати на якість, безпеку та характер молочних продуктів. Природні біоплівки, що формуються на поверхнях твердої деревини, зазвичай нешкідливі та здатні пригнічувати або обмежувати розвиток патогенів завдяки природним механізмам, які активно вивчаються сучасною наукою.

Крім того, деревину складно замінити синтетичними матеріалами у випадках, коли вона використовується для регулювання вологості сиру чи льохів. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям деревина сприяє створенню оптимальних умов для визрівання сирів та підтримки стабільного мікроклімату.

13.3. Оздоблення поверхонь молочного обладнання

Для поверхонь, що контактують з харчовими продуктами, найчастіше використовується нержавіюча сталь із зернистістю від 80 до 150. Усі поверхні, включно зі зварними та паяними з'єднаннями, мають бути принаймні такими ж гладкими, як покриття (зернистість 150), і не мати вибоїн, складок, тріщин, розломів або зміщень у кінцевій формі. Це відповідає санітарним стандартам і рекомендаціям Міністерства сільського господарства. Шорсткість поверхні безпосередньо впливає на можливість її очищення: більш гладкі поверхні вважаються більш чистими і зручними для дезінфекції.

Свіже молоко є чудовим живильним середовищем для мікробної флори, яка може контамінувати кінцевий продукт. Тому виробництво молока та молочних продуктів підлягає суворому регулюванню, що охоплює всі етапи — від доїння до переробки та пакування.

Матеріали, які використовуються у виробництві молочного обладнання, відіграють важливу роль у санітарному проектуванні та підтримці гігієни. На заводах із переробки молока зазвичай застосовують залізо, сталь, нержавіючу сталь, мідь, алюміній, олово та його сплави, скло, гуму, пластик і дерево. Проте

ці матеріали мають певні недоліки на поверхнях, що контактують з молоком: розвиток сторонніх присмаків, зміна кольору виробів, корозія посудин та утворення небезпечних хімічних сполук.

Для досягнення високих санітарних стандартів найчастіше використовується нержавіюча сталь, яка є економічно ефективним і практичним матеріалом для технологічного обладнання. Вибір конкретного сорту нержавіючої сталі залежить від потреб окремого застосування. У молочній промисловості нержавіюча сталь використовується тому, що її легко мити та дезінфікувати, вона не реагує з молочною кислотою, що утворюється під час сквашування молока, і забезпечує дотримання високих санітарних вимог на всіх етапах виробництва.

Питання для самоконтролю

1. Які поширені матеріали використовуються у виробництві молочного обладнання?
2. Як механічні якості матеріалів допомагають у проектуванні та виготовленні обладнання?
3. Які вимоги пред'являють до контактних матеріалів у молочному виробництві?
4. Які характеристики повинні мати металеві конструкційні матеріали, наприклад сталь і чавун?
5. З якою метою запроваджують нержавіючу сталь у молочній промисловості?
6. Які сучасні нержавіючі сталі застосовують у техніці та обладнанні молочних виробництв?
7. В яких випадках і з якою метою застосовують алюміній і його сплави у молочній промисловості?
8. За якими характеристиками корисно виготовляти обладнання з міді і її сплавів?
9. Як на практиці застосовують олово і покриття з нього?

10. Коли на практиці застосовують нікель і його сплави у молочній промисловості?
11. Якими конструктивними характеристиками відрізняється хром і його сплави від інших конструкційних матеріалів?
12. У яких випадках застосовують скло у молочному виробництві?
13. Яку роль відіграють пластичні маси у молочній промисловості?
14. За рахунок яких властивостей гума цінується як конструкційний матеріал?
15. З якою метою запроваджують штучне оздоблення внутрішніх поверхонь технологічного обладнання у молочному виробництві?

Рекомендована навчальна література

1. Грек О. В., Красуля О. О. Молокопереробка. Інновації : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол., Київ : НУХТ, 2017. 390 с.
2. Іванов С. В., Грек О. В., Осьмак Т. Г. Молокопереробка. Промисловий інжиніринг : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол., Київ : НУХТ, 2017. 275 с.
3. Власенко В. В., Головка М. П., Семко Т. В., Головка Т. М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
4. Семко Т. В., Власенко І. Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ: Світ книг, 2021. 290 с.
5. Кочубей-Литвиненко О. В., Ющенко Н. М. Технологія отримання та первинного оброблення молока : підручник. Нац. ун-т харч. технол., Київ : НУХТ, 2013. 211 с.
6. Грек О. В., Ющенко Н. М., Осьмак Т. Г. та ін. Практикум з технології молока та молочних продуктів : навч. посіб. Міністерство освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол., Київ : НУХТ, 2015. 431 с.
7. Перцевий Ф. В., Терешкін О. Г., Гурський П. В. та ін. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник. За ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.
8. Поліщук Г. Є., Грек О. В., Скорченко Т. А. та ін. Технологія молочних продуктів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол., Київ : НУХТ, 2013. 502 с.
9. Скарбовійчук О. М., Кочубей-Литвиненко О. В., Чернюшок О. А., Федоров В. Г. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник : навч. посібник. МОН України, Нац. ун-т харч. технол., Київ : НУХТ, 2012. 311 с.
10. Цехмістренко С. І., Кононський О. І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.

ВИСНОВКИ

Навчальний посібник з інноваційних технологій та обладнання – це книга, яка надає читачеві уявлення про складні, але надзвичайно важливі процеси, про які він може знати мало або зовсім нічого. Проте ці знання є необхідними для ефективної професійної діяльності у відповідній галузі. Важливою особливістю посібника є його спрямованість на відкриття нових знань, що дозволяє розширити світогляд щодо явищ і процесів, які лежать в основі цілої промислової галузі, зокрема харчової. Особливістю навчального посібника є його структурована побудова: матеріал викладено від опису сировини до технологій виробництва різноманітних молочних продуктів, їхніх замінників із рослинної сировини, а також розглянуто вплив молочної промисловості на навколишнє середовище.

Останнє відіграє одну з переконливих ролей у формуванні природного ландшафту. Навіть незначне забруднення повітря, води чи пасовиськ вважається неприпустимим, особливо з огляду на збільшення поголів'я великої рогатої худоби та інших тварин, здатних давати споживачам цінний і чудодійний продукт – молоко. Важко уявити життя людства без молока, йогурту, сметани, вершків, м'яких і твердих сирів, морозива та інших молочних продуктів функціонального призначення. Автори навчального посібника підкреслюють, що подібні думки набувають особливої ваги на тлі сучасного забруднення від індустриальних виробництв, гірничо-вугільних та енергетичних об'єктів, і не завжди належно висвітлюються на екологічних форумах різного рівня. Стверджується, що розвиток науки і глибше пізнання природи дають людству шанс перетворити біосферу на ноосферу – цариною розуму, де панують закони мудрості та гармонії. Академік В. І. Вернадський визначав ноосферу як стан біосфери, в якому проявляються розум та цілеспрямована праця людини як нова, небувала на планеті геологічна сила.

Молоко та молочні продукти для більшості населення Землі є одними з провідних харчових продуктів. Саме тому, на нашу думку, настав час

відповідального ставлення до таких продуктів і забезпечення їх збереження ще на стадії виробництва. Цього можна досягти завдяки сучасним технологіям та обладнанню, які сьогодні вважаються інноваційними. Впровадження таких технологій дозволяє значно підвищити якість продукції, зберегти корисні компоненти молока та створити продукти з новими функціональними властивостями. Інноваційні методи, інколи на перший погляд фантастичні, включають високий тиск, ультразвук, ультрафіолетове опромінення, застосування електромагнітних коливань, хвильовий нагрів та замороження, радіаційне опромінення, а також унікальні явища фільтрації, ультрафільтрації та зворотного осмосу. Завдяки цим технологіям можливо прогнозувати та контролювати фізико-хімічні перетворення у вихідній сировині. Це відкриває шлях для створення принципово нових високоякісних молочних продуктів як для широкого споживчого ринку, так і продуктів функціонального призначення, здатних покращувати стан здоров'я та збагачувати організм корисними лікувальними компонентами.

Навчальний посібник описує не лише сучасні технології та обладнання для виробництва широкого спектру молочних продуктів, а й, у окремих випадках, фізико-хімічні механізми, що забезпечують отримання високоякісної продукції, яка користується попитом у споживачів. Мета посібника – надати актуальну інформацію, переважно не старшу за 5–6 років, що підтверджується списком наукової та іноземної літератури після кожного розділу. Це дозволяє відчувати динаміку розвитку науки та техніки у молочній промисловості. Окремі розділи містять ілюстрації інноваційного обладнання, зокрема роботизованих рішень для конвеєрного та пакувального виробництва. Сьогодні неможливо уявити виробництво без сучасної механічної техніки, автоматизації технологічних процесів та контролю якості. Посібник також дає перші орієнтири для застосування нанотехнологій у молочному виробництві, створюючи базу для творчого підходу фахівців у вирішенні технологічних завдань із врахуванням екологічної безпеки, охорони праці та здоров'я робітників.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Лактоскан. URL: <https://ikfagro.com.ua/analiz-kachestva-moloka/analizator-moloka-ultrazvukovoy/laktoskan/> (дата звернення: 25.01.2025).
2. Аналізатор якості молока Конюшина-2М. URL: <https://medlab.ua/analizator-kachestva-moloka-klever-2m/> (дата звернення: 26.01.2025).
3. Аналізатор якості молока LactoStar. URL: <https://surl.li/tklwvi> (дата звернення: 27.01.2025).
4. Універсальний аналізатор молочних продуктів DairySpec FT. URL: <https://surl.li/boqrrv> (дата звернення: 27.01.2025).
5. Сепаратор ОМ1-А. URL: <https://babanskiy.com.ua/catalog/tovar/syeparatory/syeparator-om1-a/> (дата звернення: 28.01.2025).
6. Машини і обладнання для тваринництва. Електронний посібник. URL: <https://surl.li/mckdeb> (дата звернення: 29.01.2025).
7. Continuous sterilizer for milk beverages. URL: <https://making.com/equipment/continuous-sterilizer-for-milk-beverages> (дата звернення: 30.01.2025).
8. Milk production line. URL: <https://www.juicemakingmachine.com/complete-line/milk-production-line.html> (дата звернення: 31.01.2025).
9. Industrial pasteurizer for dairy and beverage processing. URL: <https://making.com/equipment/industrial-pasteurizer-for-dairy-and-beverage-processing> (дата звернення: 31.01.2025).
10. Ultra-high-temperature processing. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high-temperature_processing (дата звернення: 01.02.2025).
11. HPP QIF 150L for the Food Processing Industry. URL: <https://cn.quintustechologies.com/en/knowledge-center/brochure-hpp-qif-150l-for-the-food-processing-industry/> (дата звернення: 01.02.2025).
12. Understanding Pulsed Electric Field (PEF) Technology. URL: <https://www.opticept.se/pef-pulsed-electric-field/> (дата звернення: 03.02.2025).
13. Ультразвукова пастеризація рідких харчових продуктів. URL: <https://www.hielscher.com/uk/ultrasonic-pasteurization-of-liquid-foods.htm> (дата звернення: 03.02.2025).
14. Установки ультрафіолетової обробки молочних продуктів. URL: <https://www.orion.com.ua/index.php/magnitna-obrobka-ridin/obrobka-molochnikh-produktiv> (дата звернення: 04.02.2025).
15. Odueke, O. B., Farag, K. W., Baines, R. N., & Chadd, S. A. (2016). Irradiation applications in dairy products: a review. Food and Bioprocess Technology, 9(5), 751-767. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1709-y>
16. Мембранна технологія. URL: <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ua/chapter/membrannaya-tekhnologiya> (дата звернення: 04.02.2025).
17. Maximise value and quality in milk-based products. URL: <https://www.tetrapak.com/solutions/integrated-solutions-equipment/processing-equipment/membrane-filtration/liquid-milk> (дата звернення: 05.02.2025).
18. Керамічні мембрани Isoflux. URL: https://bts.net.ua/ua/membrane_filter/membrane_filter/ (дата звернення: 05.02.2025).

19. Мікрофільтрація. URL: <https://lakta-service.com/product/mikrofiltratsiya-2/> (дата звернення: 06.02.2025).
20. Ультрафільтрація. URL: <https://lakta-service.com/product/ultrafiltratsiya-2/> (дата звернення: 05.02.2025).
21. Нанофільтрація. URL: <https://lakta-service.com/product/nanofiltratsiya-2/> (дата звернення: 06.02.2025).
22. Зворотній осмос. URL: <https://lakta-service.com/product/zvorotnij-osmos/> (дата звернення: 06.02.2025).
23. Автомат для фасування в пластикові контейнери Fasa RFS 120. URL: <https://hydromarket.com.ua/ua/p1292723737-avtomat-dlya-fasovki.html> (дата звернення: 07.02.2025).
24. Continuous ice cream freezer. URL: <https://making.com/equipment/continuous-ice-cream-freezer> (дата звернення: 07.02.2025).
25. ARG - Ice cream filling and wrapping machine. URL: <https://www.fasa.lt/en/packaging/packaging-equipment/filling-and-wrapping/ice-cream-filling-and-wrapping-machine-arg/> (дата звернення: 08.02.2025).
26. Екструдер для морозива. URL: <https://www.icecom.at/en/ice-cream-equipment/extrusion-lines/arctic-dx/> (дата звернення: 08.02.2025).
27. Екструдери морозива з великими вкрапленнями. URL: <https://making.com/equipment/extruded-ice-cream-with-large-inclusions> (дата звернення: 05.02.2025).
28. Дослідний завод з виробництва морозива. URL: <https://making.com/equipment/pilot-plant-for-ice-cream-production> (дата звернення: 09.02.2025).
29. LPG-500 промислова сушарка для їжі молочний рослинних екстрактів фруктового соку дріжджі Відцентрова розпилювальна сушарка. URL: https://www.alibaba.com/product-detail/LPG-500-Industrial-spray-dryer-for_1600557766761.html (дата звернення: 09.02.2025).
30. Сушарка для заморожування їжі. Вакуумна сублимаційна сушарка молока. URL: <https://ua.kassel-temperaturecontroller.net/freeze-dryer/vacuum-food-freeze-dryer/milk-vacuum-freeze-dryer.html> (дата звернення: 09.02.2025).
31. Сушильна установка А1-ОП2С. URL: <https://www.kmbp.com.ua/produksiya/rishennia-dlia-molochnoi-promislovosti/sushilni-ustanovki/sushylna-ustanovka-a1-or2ch> (дата звернення: 10.02.2025).
32. Сушильна установка. URL: <https://www.kmbp.com.ua/produksiya/rishennia-dlia-molochnoi-promislovosti/sushilni-ustanovki/sushylna-ustanovka-a1-or2ch> (дата звернення: 11.02.2025).
33. Установки для рідких продуктів. URL: <https://www.inoxpa.com.ua/produksiya/ustanovki#reject> (дата звернення: 11.02.2025).
34. Рулон пористої металевої мембрани. URL: <https://uk.saifilter.com/products/porous-metal-membrane-roll/> (дата звернення: 12.02.2025).
35. Дешева комерційна сублимаційна сушильна машина з нержавіючої сталі для продажу сушених овочів квітів трав кокосового молока сублимаційна сушарка для заморожування. URL: <https://surl.li/ggjsni> (дата звернення: 12.02.2025).
36. Butter Churner Machine. URL: <https://making.com/equipment/butter-churner-machine> (дата звернення: 14.02.2025).

37. Centrifugal separators for dairy products. URL: <https://making.com/equipment/centrifugal-separators-for-dairy-products> (дата звернення: 14.02.2025).
38. Butter Making Machine BUE. URL: <https://www.gea.com/en/products/centrifuges-separation/buttermaking/buttermaking-continuous-butter-bue/> (дата звернення: 15.02.2025).
39. ORG – Bulk butter filling machine. URL: <https://www.fasa.lt/en/packaging/packaging-equipment/filling-and-wrapping/bulk-butter-filling-machine-org/> (дата звернення: 15.02.2025).
40. Butter making machines. URL: <https://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/butter-making-machine-264833.html> (дата звернення: 16.02.2025).
41. Риб'ячий жир та омега 3 - добавки для здоров'я і краси. URL: <https://www.0352.ua/news/2246720/ribacij-zir-ta-omega-3-dobavki-dla-zdorova-i-krasi> (дата звернення: 16.02.2025).
42. Олія прямого віджиму, безглютенове борошно, ГХІ, урбечі. Продукція здорового харчування. URL: <https://www.ecoeda.in.ua/korist-oli%D1%97-z-nasinnja-chia/> (дата звернення: 17.02.2025).
43. Лляна олія: склад, використання, користь. URL: <https://fitomarket.com.ua/ua/fitoblog/ljanoe-maslo-sostav-ispolzovanie-polza> (дата звернення: 17.02.2025).
44. CLA-кон'югована лінолева кислота. URL: <https://ua.hsfbiotech.com/vegenutri-nutrition-ingredients/cla-conjugated-linoleic-acid.html> (дата звернення: 17.02.2025).
45. Фундук. URL: <https://edaplus.info/produce/filbert.html> (дата звернення: 18.02.2025).
46. Екстракт кориці. URL: <https://monsterlab.com.ua/rastitelnye-ekstrakty/ekstrakt-koritsy/> (дата звернення: 18.02.2025).
47. Масло овече Плай 83%. URL: <https://zakaz.ua/products/maslo--08000020675911/> (дата звернення: 19.02.2025).
48. Масло Лавка традицій Плай з козячого молока 85%. URL: <https://silpo.ua/product/maslo-lavka-tradytsii-plai-z-koziachogo-moloka-85-932241> (дата звернення: 20.02.2025).
49. Масло Ши рафинированное (баттер). URL: <https://mylovarnya.od.ua/magazin/tverdye-masla/maslo-shi-rafinirovannoe-batter-germaniya/> (дата звернення: 21.02.2025).
50. Tetra Pak® Cheese Vat OST CH6. URL: <https://www.tetrapak.com/solutions/integrated-solutions-equipment/processing-equipment/curd-making/cheese-vat-ost-ch6> (дата звернення: 21.02.2025).
51. Tetra Pak® Cheese Vat Yieldmaster 2. URL: <https://www.tetrapak.com/solutions/integrated-solutions-equipment/processing-equipment/curd-making/cheese-vat-yieldmaster-2> (дата звернення: 22.02.2025).
52. Tetra Pak® Cheese Vat OO CH9. URL: <https://www.tetrapak.com/solutions/integrated-solutions-equipment/processing-equipment/curd-making/tetra-pak-cheese-vat-oo-ch9> (дата звернення: 23.02.2025).
53. Tetra Pak® Grainy Cheese Vat E4. URL: <https://www.tetrapak.com/solutions/integrated-solutions-equipment/processing-equipment/curd-making/Grainy-Cheese-Vat-E4> (дата звернення: 24.02.2025).
54. Foil wrapping machine for cream cheese. URL: <https://making.com/equipment/foil-wrapping-machine-for-cream-cheese> (дата звернення: 26.02.2025).

55. Чим корисне рослинне молоко для організму людини. URL: <https://ukr.media/food/410264/> (дата звернення: 27.02.2025).
56. PTH-10 Microfluidizer Гомогенізатор. URL: <http://uk.caspeter.com/pth-10-microfluidizer-homogenizer-product/> (дата звернення: 27.02.2025).
57. Robot-assisted production of dairy products. URL: <https://www.staubli.com/global/en/robotics/industries/food/dairy-products.html#tabs-4ba7ee8472-item-cf4737394c-tab> (дата звернення: 07.03.2025).
58. Main applications from primary processing to packaging. URL: <https://www.staubli.com/global/en/robotics/industries/food/dairy-products.html#tabs-4ba7ee8472-item-7b8da0d11f-tab> (дата звернення: 07.03.2025).
59. Fully automatic packaging solution for butter and pasty products. URL: <https://making.com/equipment/fully-automatic-packaging-solution-for-butter-and-pasty-products> (дата звернення: 07.03.2025).
60. Thermoforming Vacuum Packaging Machine. URL: <https://www.utien.com/product/thermoforming-vacuum-packaging-machine.html> (дата звернення: 07.03.2025).
61. CIP cleaning system for dairy industries. URL: <https://making.com/equipment/cip-cleaning-system-for-dairy-industries> (дата звернення: 09.03.2025).
62. Соломон, А. М., & Полевода, Ю. А. (2019). Вплив показників якості молока на продукти харчування. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2019. № 4 (107). С. 33-39. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/23090.pdf>
63. Шурчкова, Ю. П., Ромоданова, В. О., Савчук, О. М., & Недбайло, А. Є. (2008). Фракційний склад білків та термостійкість молока в залежності від різних способів обробки. Молочна промисловість, (2), 57-59.
64. Перцевий Ф. В., Гурський П. В., Грінченко О. О. Технологія переробки молока : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2006. 378 с.
65. ДСТУ 3662:2018. Молоко–сировина коров'яче. Технічні умови. Чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2018. 12 с.
66. Палій А. П. Інноваційні основи одержання високоякісного молока : монографія. Херсон : «Міськдруку», 2016. 270 с.
67. Єресько Г. О., Романчук І. О. Якість молока і молочних продуктів. Вісник аграрної науки. 2006. № 12. С. 87–88.
68. Hanamant, P. S., & Bansilal, G. M. (2012). Proteolytic psychrotrophic *Bacillus cereus* from milk and fermented milk products. Journal of Environmental Research And Development. № 3. P. 660–666. URL: <http://www.jerad.org/dispaabstract.php?vID=716>
69. Ганина, В. И. (2003). Екологія та органолептична оцінка сирого молока. Переробка молока. No 8. С. 8.
70. Żbik, K., Onopiuk, A., Górska-Horczyzak, E., & Wierzbicka, A. (2024). Trends and opportunities in the dairy industry: A2 milk and processing methods. Applied Sciences, 14(15), 6513. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14156513>
71. Bintsis, T., & Papademas, P. (2022). The evolution of fermented milks, from artisanal to industrial products: A critical review. Fermentation, 8(12), 679. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8120679>

72. Oktay, Y. (2023). A review of fermented milks: potential beneficial effects on human nutrition and health. *African Health Sciences*, 23(4), 498-507. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8120679>
73. Thorning, T. K., Raben, A., Tholstrup, T., Soedamah-Muthu, S. S., Givens, I., & Astrup, A. (2016). Milk and dairy products: good or bad for human health? An assessment of the totality of scientific evidence. *Food & nutrition research*, 60(1), 32527. DOI: <https://doi.org/10.3402/fnr.v60.32527>
74. Ozaybi, N. (2024). High-pressure processing of milk and dairy products: Latest update. *Processes*, 12(10), 2073. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12102073>
75. Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник / Власенко В. В., Т 38 Головка М. П., Семко Т. В., Головка Т. М. Харківський державний університет харчування та торгівлі. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
76. Берник, І. М. (2005). Використання фізичних полів для обробки харчових продуктів. Вібрації в техніці та технологіях, (2), 40.
77. Cavalcanti, R. N., Balthazar, C. F., Margalho, L. P., Freitas, M. Q., Sant'Ana, A. S., & Cruz, A. G. (2023). Pulsed electric field-based technology for microbial inactivation in milk and dairy products. *Current Opinion in Food Science*, 54, 101087. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101087>
78. Abrahamsen, R. K., & Narvhus, J. A. (2022). Can ultrasound treatment replace conventional high temperature short time pasteurization of milk? A critical review. *International Dairy Journal*, 131, 105375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105375>
79. Astráin-Redín, L., Skipnes, D., Cebrián, G., Álvarez-Lanzarote, I., & Rode, T. M. (2023). Effect of the application of ultrasound to homogenize milk and the subsequent pasteurization by pulsed electric field, high hydrostatic pressure, and microwaves. *Foods*, 12(7), 1457. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12071457>
80. Nikmaram, N., & Keener, K. M. (2022). The effects of cold plasma technology on physical, nutritional, and sensory properties of milk and milk products. *Lwt*, 154, 112729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112729>
81. Makararpong, D., Tantayanon, S., Gowanit, C., Jareonsawat, J., Samgnamnim, S., Wataradee, S., ... & Inchaisri, C. (2024). Enhancing Raw Bovine Milk Quality using Ultraviolet-C (UV-C) Irradiation: A Microbial and Lipid Peroxidation Study. *Food science of animal resources*, 44(2), 372. DOI: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e16>
82. Odueke, O. B. (2019). Irradiation of Milk Products–Assessment of Gamma Radiation and Evaluation of its Impact on Product Quality and Safety. Coventry University. In association with the Royal Agricultural University. November. P. 1948–2018. URL: https://pure.coventry.ac.uk/ws/portalfiles/portal/53998983/Odueke_2019.pdf
83. Robichaud, V., Aguilar-Uscanga, B. R., Millette, M., Allahdad, Z., & Lacroix, M. (2021). Impact of γ -irradiation or heat pasteurisation treatment on nutritional and immunological properties of human milk. *International Dairy Journal*, 123, 105178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105178>
84. Reig, M., Vecino, X., & Cortina, J. L. (2021). Use of membrane technologies in dairy industry: An overview. *Foods*, 10(11), 2768. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112768>

- 85.Özcan, M., Büyükgümüş, E., & Bulca, S. (2022). Use of membrane separation techniques in dairy technology and its effects on dairy products. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i11.2115-2124>
- 86.Nandini, K., Praneeth, C. N., & Rao, A. (2021, November). A review on membrane processes in dairy technology. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2387, No. 1, p. 030001). AIP Publishing LLC. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0068600>
- 87.Gálvez, A., López, R. L., Pulido, R. P., & Burgos, M. J. G. (2014). Biopreservation of milk and dairy products. In Food Biopreservation (pp. 49-69). New York, NY: Springer New York. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2029-7_5
- 88.Shi, C., & Maktabdar, M. (2022). Lactic acid bacteria as biopreservation against spoilage molds in dairy products–A review. *Frontiers in microbiology*, 12, 819684. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.819684>
- 89.Amiri, S., Aghamirzaei, M., Mostashari, P., Sarbazi, M., Tizchang, S., & Madahi, H. (2021). The impact of biotechnology on dairy industry. In *Microbial biotechnology in food and health* (pp. 53-79). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819813-1.00003-7>
- 90.Головко М. П., Власенко І.Г., Головко Т. М., Семко Т. В. Технологія молока та молочних продуктів з елементам НАССР: навчальний посібник. Х.: Світ Книг, 2021. 304 с.
- 91.Блятон А., Мазуркевич І. (2019). Новітні технології продукції з молока. *Логос. Мистецтво наукової думки*. 38-40. DOI: <https://doi.org/10.36074/2617-7064.06.00.009>
- 92.ДСТУ 4343: 2004. Йогурти. Загальні технічні умови. Чинний від 2005-10-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 3 с.
- 93.Singh, P. K., & Shah, N. P. (2017). Other fermented dairy products: Kefir and koumiss. In *Yogurt in health and disease prevention* (pp. 87-106). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00005-5>
- 94.Munteanu-Ichim, R. A., Canja, C. M., Lupu, M., Bădărașu, C. L., & Matei, F. (2024). Tradition and innovation in yoghurt from a functional perspective – a review. *Fermentation*, 10(7), 357. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10070357>
- 95.Salama, H. H., & Bhattacharya, S. (2022). Advancement of yogurt production technology. In *Advances in dairy microbial products* (pp. 117-131). Woodhead Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85793-2.00021-7>
- 96.Tkachenko, N. A., Kruchek, O. A., Kopyko, A. V., & Ramazashvili, G. R. (2017). Innovative solutions in biotechnologies of combined yogurt drinks with balanced chemical contents. *Food Science and Technology*, 11(3). DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v11i3.605>
- 97.Turek, K., Khachatryan, G., Khachatryan, K., & Krystijan, M. (2023). An innovative method for the production of yoghurt fortified with walnut oil nanocapsules and characteristics of functional properties in relation to conventional yoghurts. *Foods*, 12(20), 3842. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12203842>
- 98.Wang, X., Wang, L., Wei, X., Xu, C., Cavender, G., Lin, W., & Sun, S. (2025). Invited review: Advances in yogurt development – Microbiological safety, quality, functionality, sensory evaluation, and consumer perceptions across different dairy and plant-based alternative sources. *Journal of Dairy Science*, 108(1), 33-58. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25322>
- 99.Hussein, Z. E. H., Silva, J. M., Alves, E. S., Castro, M. C., Ferreira, C. S. R., Chaves, M. L. C., ... & Santos, O. O. (2021). Technological advances in probiotic stability in yogurt: a review.

- Research, Society and Development, 10(12), e449101220646-e449101220646. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20646>
100. Munteanu-Ichim, R. A., Canja, C. M., Lupu, M., Bădăraș, C. L., & Matei, F. (2024). Tradition and innovation in yoghurt from a functional perspective – a review. *Fermentation*, 10(7), 357. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10070357>
101. Bankole, A. O., Ironidi, E. A., Awoyale, W., & Ajani, E. O. (2023). Application of natural and modified additives in yogurt formulation: Types, production, and rheological and nutraceutical benefits. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1257439. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1257439>
102. Harfoush, A., Fan, Z., Goddik, L., & Haapala, K. R. (2024). A review of ice cream manufacturing process and system improvement strategies. *Manufacturing Letters*, 41, 170-181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.09.021>
103. Arslaner, A., & Salik, M. A. (2020). Functional ice cream technology. *Akademik Gıda*, 18(2), 180-189. DOI: <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.758835>
104. ДСТУ 4733:2007. Морозиво молочне, вершкове, пломбір. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 39 с.
105. ДСТУ 4735:2007. Морозиво з комбінованим складом сировини. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 38 с.
106. Колеснікова, М. Б., Юрченко, С. Л., Черемська, Т. В., & Миколенко, М. А. (2023). Розроблення технології заморожених десертів з використанням елементів молекулярної кулінарії (Pacotizing). *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (4), 127-136. DOI: <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.16>
107. Білик, О., Сливка, Н., & Михайлицька, О. (2022). Обґрунтування та розробка технології імбирного морозива. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Технічні науки»*, (3), 15-19. DOI: <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2022-3-3>
108. Manjunatha, V., Bhattacharjee, D., & Flores, C. (2024). Unlocking Innovations: Exploring the Role of Kefir in Product Development. *Current Food Science and Technology Reports*, 2(2), 221-230. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43555-024-00032-w>
109. Сметана. URL: <https://surl.ln/snbdis> (дата звернення: 30.03.2025).
110. Ustymenko, I., Bal-Prylypko, L., Nikolaenko, M., Ivaniuta, A., Tverezovska, N., Chumachenko, I., ... & Melnik, V. (2023). Development of sour cream with vegetable oils using a food emulsion stabilised by an emulsifying complex. *Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo*, 17(1). DOI: <https://doi.org/10.5219/1849>
111. ДСТУ 4417:2005. Національний стандарт України. Кефір. Технічні умови. Чинний від 2006-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 8 с.
112. Kesenkaş, H., Gürsoy, O., & Özbaş, H. (2017). Kefir. In *Fermented foods in health and disease prevention* (pp. 339-361). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802309-9.00014-5>
113. Verma, T., Aggarwal, A., Tripathi, A. D., Rai, D. C., & Jaspal, S. (2022). Preservation approaches for milk and milk products: A Review. *Indian Journal of Dairy Science*, 75(5). DOI: <https://doi.org/10.33785/IJDS.2022.v75i05.001>
114. Salvo-Comino, C., Perez-Gonzalez, C., Martin-Bartolome, P., Martin-Pedrosa, F., Garcia-Cabezón, C., & Rodriguez-Mendez, M. L. (2023). Impact of milk preservation in the

- classification and prediction capabilities of a voltammetric electronic tongue. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 393, 134138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2023.134138>
115. Chimdo, A. (2022). Review on Traditional Cow Milk Preservation Method and Marketing Practice in Ethiopia. *Asian J. Adv. Agric. Res.*, 20(3), 16-23. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajaar/2022/v20i3399>
 116. Romo, M., Chutani, D., Fartdinov, D., Panthi, R. R., Vahedikia, N., Castellari, M., ... & Murphy, E. G. (2024). Pulse spray drying for bovine skimmed milk powder production. *Foods*, 13(6), 869. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13060869>
 117. Khasan, S., Mokhira, Z., Kamol, N., & Sherzod, M. (2024). Modern methods for producing milk powders. *Universum: технические науки*, 8(2 (119)), 24-26. DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2024.119.2.16807>
 118. D'Incecco, P., Limbo, S., Hogenboom, J. A., & Pellegrino, L. (2021). Novel technologies for extending the shelf life of drinking milk: Concepts, research trends and current applications. *Lwt*, 148, 111746. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111746>
 119. Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknytė, M., & De Noni, I. (2023). Current insights into non-thermal preservation technologies alternative to conventional high-temperature short-time pasteurization of drinking milk. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63(22), 5643-5660. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2022596>
 120. Gebeyehu, M. N. (2023). Recent advances and application of biotechnology in the dairy processing industry: A review. *Intensive animal farming-A cost-effective tactic*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.105859>
 121. Siddiqui, S. A., Khan, S., Bahmid, N. A., Nagdalian, A. A., Jafari, S. M., & Castro-Muñoz, R. (2024). Impact of high-pressure processing on the bioactive compounds of milk-A comprehensive review. *Journal of Food Science and Technology*, 61(9), 1632-1651. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-024-05938-w>
 122. Linehan, K., Patangia, D. V., Ross, R. P., & Stanton, C. (2024). Production, composition and nutritional properties of organic milk: a critical review. *Foods*, 13(4), 550. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13040550>
 123. Nandini, K., Praneeth, C. N., & Rao, A. (2021, November). A review on membrane processes in dairy technology. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2387, No. 1, p. 030001). AIP Publishing LLC. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0068600>
 124. Silva, E., Oliveira, J., Silva, Y., Urbano, S., Sales, D., Moraes, E., ... & Anaya, K. (2020). Lactoperoxidase system in the dairy industry: Challenges and opportunities. *Czech Journal of Food Sciences*, 38(6). DOI: <https://doi.org/10.17221/103/2020-CJFS>
 125. Vioque-Amor, M., Gómez-Díaz, R., Del Río-Celestino, M., & Avilés-Ramírez, C. (2023). Butter from different species: composition and quality parameters of products commercialized in the south of Spain. *Animals*, 13(22), 3559. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13223559>
 126. Halder, K., Sahu, J. K., Naik, S. N., Mandal, S., & Bag, S. K. (2021). Improvements in makkhan (traditional Indian cultured butter) production: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1640-1654. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04711-z>
 127. Kryvoruchko N. V., & Kyrychenko T. S. (2024). Features of classification and examination of butter and spreads. *Bulletin of Kharkiv National University of Internal Affairs*, 104(1 (Part 1), 188-200. DOI: <https://doi.org/10.32631/v.2024.1.16>

128. Sanchari Sinha Dutt. The health benefits of grass-fed butter. News-Medical. URL: <https://www.news-medical.net/health/The-health-benefits-of-grass-fed-butter.aspx> (дата звернення: 30.03.2025).
129. Ferreira, L., Borges, A., Gomes, D., Dias, S., Pereira, C., & Henriques, M. (2022). Adding value and innovation in dairy SMEs: From butter to probiotic butter and buttermilk. *Journal of food processing and preservation*, 46(8), e14867. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14867>
130. Паляничка, Н. О., Паляничка, Н. А., Верхованцева, В. О., & Верхованцева, В. А. (2020). Виробництво вершкового масла в масловиготовлювачах періодичної дії: методичні вказівки до лабораторної роботи з дисципліни «Інноваційні технології та обладнання галузі» для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр».
131. Шелудько, В. (2024). Розширення асортименту борошnianх виробів власного виробництва як запорука конкурентоспроможності підприємства ресторанного господарства. *Інновації та технології в сфері послуг і харчування*, (2 (12)), 34-40. DOI: [https://doi.org/10.32782/2708-4949.2\(12\).2024.5](https://doi.org/10.32782/2708-4949.2(12).2024.5)
132. ДСТУ 4399:2005. Масло вершкове. Технічні умови. Чинний від 2006-07-01. Вид. офіц. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 15 с.
133. Zheng, X., Shi, X., & Wang, B. (2021). A review on the general cheese processing technology, flavor biochemical pathways and the influence of yeasts in cheese. *Frontiers in Microbiology*, 12, 703284. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.703284>
134. Oštarić, F., Antunac, N., Cubric-Curik, V., Curik, I., Jurić, S., Kazazić, S., ... & Mikulec, N. (2022). Challenging sustainable and innovative technologies in cheese production: A review. *Processes*, 10(3), 529. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10030529>
135. Bekele, B. (2022). Innovative Approach of Cheese Making from Camel Milk: A Review. *Current Issues and Advances in the Dairy Industry*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.108700>
136. Chamberland, J., Brisson, G., Doyen, A., & Pouliot, Y. (2022). Innovations from pressure-driven membrane processes in cheese technology: from milk protein concentrates to sustainability and precision cheesemaking. *Current Opinion in Food Science*, 48, 100948. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100948>
137. Zheng, X., Shi, X., & Wang, B. (2021). A review on the general cheese processing technology, flavor biochemical pathways and the influence of yeasts in cheese. *Frontiers in Microbiology*, 12, 703284. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.703284>
138. Martin, C., Harel-Oger, M., Garric, G., Le Loir, Y., Soler, L. G., & Marette, S. (2023). Acceptability of a sustainable technological innovation applied to traditional soft cheese: information concerning the benefits for health and the environment can compensate for a lower hedonic appreciation. *Food Quality and Preference*, 104, 104753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104753>
139. Roobab, U., Inam-Ur-Raheem, M., Khan, A. W., Arshad, R. N., Zeng, X. A., & Aadil, R. M. (2023). Innovations in high-pressure technologies for the development of clean label dairy products: a review. *Food Reviews International*, 39(2), 970-991. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1928690>

140. Kontogianni, V. G., Kosma, I., Mataragas, M., Pappa, E., Badeka, A. V., & Bosnea, L. (2023). Innovative intelligent cheese packaging with whey protein-based edible films containing spirulina. *Sustainability*, 15(18), 13909. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151813909>
141. Moises, R. M. M., Salgueiro, C. C. D. M., Leitão, M. S. P., & Nunes, J. F. (2024). Exploring goat's milk cheese: A systematic review of production techniques and innovations (2013-2023). *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, e2023152. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15223>
142. Moises, R. M. M., Salgueiro, C. C. D. M., Leitão, M. S. P., & Nunes, J. F. (2024). Exploring goat's milk cheese: A systematic review of production techniques and innovations (2013-2023). *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, e2023152. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15223>
143. McClements, D. J., Newman, E., & McClements, I. F. (2019). Plant-based milks: A review of the science underpinning their design, fabrication, and performance. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(6), 2047-2067. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12505>
144. Romulo, A. (2022, February). Nutritional contents and processing of plant-based milk: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 998, No. 1, p. 012054). IOP Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012054>
145. Sharma, N., Yeasmen, N., Dube, L., & Orsat, V. (2024). A review on current scenario and key challenges of plant-based functional beverages. *Food Bioscience*, 60, 104320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104320>
146. Soczynska, I., da Costa, B. R., O'Connor, D. L., Jenkins, D. J., Birken, C. S., Keown-Stoneman, C. D., ... & Maguire, J. L. (2024). A systematic review on the impact of plant-based milk consumption on growth and nutrition in children and adolescents. *The Journal of Nutrition*, 154(11), 3446-3456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2024.09.010>
147. Karoui, R., & Bouaicha, I. (2024). A review on nutritional quality of animal and plant-based milk alternatives: a focus on protein. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1378556. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1378556>
148. Romulo, A. (2022, February). Nutritional contents and processing of plant-based milk: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 998, No. 1, p. 012054). IOP Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012054>
149. Vashisht, P., Sharma, A., Awasti, N., Wason, S., Singh, L., Sharma, S., ... & Khattra, A. K. (2024). Comparative review of nutri-functional and sensorial properties, health benefits and environmental impact of dairy (bovine milk) and plant-based milk (soy, almond, and oat milk). *Food and Humanity*, 2, 100301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100301>
150. Daryani, D., Pegua, K., & Aryaa, S. S. (2024). Review of plant-based milk analogue: its preparation, nutritional, physicochemical, and organoleptic properties. *Food Science and Biotechnology*, 33(5), 1059-1073. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01482-z>
151. Craig, W. J., & Fresán, U. (2021). International analysis of the nutritional content and a review of health benefits of non-dairy plant-based beverages. *Nutrients*, 13(3), 842. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13030842>
152. Biscotti, P., Del Bo', C., Carvalho, C., Torres, D., Reboul, E., Pellegrini, B., ... & Riso, P. (2023). Can the substitution of milk with plant-based drinks affect health-related markers? A systematic review of human intervention studies in adults. *Nutrients*, 15(11), 2603. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15112603>

153. Heema, R., Sivaranjani, S., & Gnanalakshmi, K. S. (2022). An insight in to the automation of the dairy industry: A review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 41(2), 125-131. DOI: <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1856>
154. Sandey, K. K., Qureshi, M. A., Meshram, B. D., Agrawal, A., & Uprit, S. (2017). Robotics–an emerging technology in dairy industry. *Int. J. Eng. Trends Technol*, 43, 58-62.
155. Hassoun, A., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Jagtap, S., Parra-López, C., Cropotova, J., ... & Ait-Kaddour, A. (2023). Birth of dairy 4.0: Opportunities and challenges in adoption of fourth industrial revolution technologies in the production of milk and its derivatives. *Current research in food science*, 7, 100535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100535>
156. Gaworski, M., & Kic, P. (2024). Assessment of production technologies on dairy farms in terms of animal welfare. *Applied Sciences*, 14(14), 6086. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14146086>
157. Heema, R., Sivaranjani, S., & Gnanalakshmi, K. S. (2022). An insight in to the automation of the dairy industry: A review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 41(2), 125-131. DOI: <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1856>
158. Khoroshailo, T. A., & Kozub, Y. A. (2020, April). Robotization in the production of dairy, meat and fish products. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1515, No. 2, p. 022007). IOP Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/2/022007>
159. Langer, G., & Kühl, S. (2024). Perception and acceptance of robots in dairy farming – a cluster analysis of German citizens. *Agriculture and Human Values*, 41(1), 249-267. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10483-x>
160. Cheremisina, S. G., Rossokha, V. V., & Kryvun, M. V. (2022). Prospects for increasing the level of innovation activity of dairy enterprises. *Ekonomika APK*, 29(2), 20-33. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202202020>
161. Barukčić, I., Ščetar, M., Lisak Jakopović, K., Kurek, M., & Božanić, R. (2021). Overview of packaging materials for Dairy packaging. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, 16(3-4), 85-93. DOI: <https://doi.org/10.31895/hcptbn.16.3-4.5>
162. Ščetar, M., Barukčić, I., Kurek, M., Jakopović, K. L., & Božanić, R. (2019). Packaging perspective of milk and dairy products. *Dairy/Mljekarstvo*, 69(1). DOI: <https://doi.org/10.15567/mljeKarstvo.2019.0101>
163. Turkmen, N., & Ozturkoglu-Budak, S. (2020). Novel packaging technologies in dairy products: principles and recent advances. *Technological Developments in Food Preservation, Processing, and Storage*, 65-85. DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1924-0.ch004>
164. Francis, D. V., Dahiya, D., Gokhale, T., & Nigam, P. S. (2024). Sustainable packaging materials for fermented probiotic dairy or non-dairy food and beverage products: challenges and innovations. *AIMS microbiology*, 10(2), 320-339. DOI: <https://doi.org/10.3934/microbiol.2024017>
165. Thirupathi Vasuki, M., Kadirvel, V., & Pejavara Narayana, G. (2023). Smart packaging – An overview of concepts and applications in various food industries. *Food Bioengineering*, 2(1), 25-41. DOI: <https://doi.org/10.1002/fbe2.12038>
166. Klein, M., Werner, C., Tacker, M., & Apprich, S. (2024). Influence of packaging design on technical emptiability of dairy products and implications on sustainability through food waste reduction. *Sustainability*, 16(15), 6335. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16156335>

167. Cadwallader, D. C., Gerard, P. D., & Drake, M. A. (2023). The role of packaging on the flavor of fluid milk. *Journal of Dairy Science*, 106(1), 151-167. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22060>
168. Gerna, S., D'Incecco, P., Limbo, S., Sindaco, M., & Pellegrino, L. (2023). Strategies for Exploiting Milk Protein Properties in Making Films and Coatings for Food Packaging: A Review. *Foods* 2023, 12, 1271. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12061271>
169. Kaseke, T., Lujic, T., & Cirkovic Velickovic, T. (2023). Nano-and microplastics migration from plastic food packaging into dairy products: Impact on nutrient digestion, absorption, and metabolism. *Foods*, 12(16), 3043. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12163043>
170. Salgado, P. R., Di Giorgio, L., Musso, Y. S., & Mauri, A. N. (2021). Recent developments in smart food packaging focused on biobased and biodegradable polymers. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 630393. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.630393>
171. Francis, D. V., Dahiya, D., Gokhale, T., & Nigam, P. S. (2024). Sustainable packaging materials for fermented probiotic dairy or non-dairy food and beverage products: challenges and innovations. *AIMS microbiology*, 10(2), 320. DOI: <https://doi.org/10.3934/microbiol.2024017>
172. Gebeyehu, M. N. (2023). Recent advances and application of biotechnology in the dairy processing industry: A review. *Intensive animal farming-A cost-effective tactic*. IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.105859>
173. Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., ur Rahman, U., Soares, B. C., Souza, S. L., ... & Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361-372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
174. Anand, T. S., Vahab, H., Chandran, D., Shanavas, A., Kumar, M., Nainu, F., ... & Dhama, K. (2022). Dairy waste management: a narrative review on current knowledge. *The Indian veterinary journal*. 99, 7–9. URL: <https://ivj.org.in/journal-article-viewer/e556d538-966b-4f01-b7cc-5725feafff61/>
175. Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., ur Rahman, U., Soares, B. C., Souza, S. L., ... & Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361-372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
176. Adesra, A., Srivastava, V. K., & Varjani, S. (2021). Valorization of dairy wastes: integrative approaches for value added products. *Indian Journal of Microbiology*, 61(3), 270-278. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12088-021-00943-5>
177. Sar, T., Harirchi, S., Ramezani, M., Bulkan, G., Akbas, M. Y., Pandey, A., & Taherzadeh, M. J. (2022). Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review. *Science of the Total Environment*, 810, 152253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152253>
178. Kolev Slavov, A. (2017). General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater—a review. *Food technology and biotechnology*, 55(1), 14-28. DOI: <https://doi.org/10.17113/ftb.55.01.17.4520>
179. Hameed, A., Anwar, M. J., Perveen, S., Amir, M., Naeem, I., Imran, M., ... & Awuchi, C. G. (2023). Functional, industrial and therapeutic applications of dairy waste materials. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 1470-1496. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2213854>

180. Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., ur Rahman, U., Soares, B. C., Souza, S. L., ... & Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361-372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
181. Dinkci, N. (2021). Whey, Waste or Value?. *World J Agri & Soil Sci.* 6 (5). WJASS. MS. ID, 648. DOI: <https://doi.org/10.33552/WJASS.2021.06.000648>
182. Buchanan, D., Martindale, W., Romeih, E., & Hebishy, E. (2023). Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. *International Journal of Dairy Technology*, 76(2), 291-312. DOI: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935>
183. Yonar, T., Sivrioğlu, Ö., & Özengin, N. (2018). Physico-Chemical Treatment of Dairy Industry. Technological approaches for novel applications in dairy processing, 179. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77110>
184. Al-Tayawi, A. N., Sisay, E. J., Beszédes, S., & Kertész, S. (2023). Wastewater treatment in the dairy industry from classical treatment to promising technologies: An overview. *Processes*, 11(7), 2133. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11072133>
185. Prasad, S. (2023). A Review of Engineering Materials Used in the Dairy Processing Equipment. *International Journal of Scientific Engineering and Research*, 11. 23–29. URL: <https://surli.cc/xuqacp>
186. Aydogdu, T., O'Mahony, J. A., & McCarthy, N. A. (2023). pH, the fundamentals for milk and dairy processing: A review. *Dairy*, 4(3), 395-409. DOI: <https://doi.org/10.3390/dairy4030026>
187. Owusu-Kwarteng, J., Akabanda, F., Agyei, D., & Jespersen, L. (2020). Microbial safety of milk production and fermented dairy products in Africa. *Microorganisms*, 8(5), 752. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050752>
188. Kovaliova, O., Tchoursinov, Y., Kalyna, V., Koshulko, V., Kunitsia, E., Chernukha, A., Bezuglov, O., Bogatov, O., Polkovnychenko, D., & Grigorenko, N. (2020). Identification of patterns in the production of a biologically-active component for food products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(11 (104), 61–68. [https://doi.org/10.15587/1729-4061.200026](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200026)
189. Kovalova, O., Vasylieva, N., Stankevych, S., Zabrodina, I., Haliasnyi, I., Gontar, T., Kotliar, O., Gavrish, T., Gill, M., Karatieieva, O. (2023). Determining the effect of plasmochemically activated aqueous solutions on the bioactivation process of sea buckthorn seeds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11 (122)), 99–111. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275548>
190. Kovaliova, O., Vasylieva, N., Stankevych, S., Zabrodina, I., Mandych, O., Hontar, T., Haliasnyi, I., Kotliar, O., Yanchyk, O., Bogatov, O. (2023). Development of a technology for the production of germinated flaxseed using plasma-chemically activated aqueous solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (11 (124)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.284810>
191. Gebeyehu, M. N. (2023). Recent advances and application of biotechnology in the dairy processing industry: A review. *Intensive animal farming-A cost-effective tactic*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.105859>
192. Pant, K. J., Cotter, P. D., Wilkinson, M. G., & Sheehan, J. J. (2023). Towards sustainable Cleaning-in-Place (CIP) in dairy processing: Exploring enzyme-based approaches to cleaning in the Cheese industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(5), 3602-3619. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13206>

193. Yirda, A., Eshetu, M., & Babege, K. (2020). Current status of camel dairy processing and technologies: A review. *Open Journal of Animal Sciences*, 10(3), 362-377. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojas.2020.103022>
194. Sandey, K.K., Goel, B., Karthikeyan, S., Agrawal, A., Meshram, B., Sahu, R., & Sahu, C. (2020). Extrusion Technology in Dairy Industry: A Mini review, *Ind. J. Pure App. Biosci.* 8(5), 90-97. DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8253>
195. Teshome, T., Abebaye, H., Tezera, W., Gelmessa, U. Assessment of milk handling and processing practices and microbial quality of cow milk. *Glob. J. Anim. Sci. Res.*12(1). 92-116. DOI: <http://www.gjasr.com/index.php/GJASR/article/view/201>
196. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.
197. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні технології та обладнання бродильних виробництв: Навчальний посібник. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2025. 396 с.
198. Грек О.В., Красуля О.О. Молокопереробка. Інновації : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2017. 390 с.
199. Иванов С.В., Грек О.В., Осьмак Т.Г. Молокопереробка. Промисловий інжиніринг : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ: НУХТ, 2017. 275 с.
200. Власенко В. В., Головка М. П., Семко Т. В., Головка Т. М. Технологія молока та молочних продуктів : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2018. 202 с.
201. Семко Т.В., Власенко І.Г. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР. Київ: Світ книг, 2021. 290 с.
202. Кузьмін Є. С. Ефективність інвестицій підприємств молочної промисловості: монографія. Київ : ІАЕ, 2015. 254 с.
203. Технологія сиру : підручник / Ю. Г. Сухенко, Г. Є. Поліщук, Р. Й. Раманаускас, Т. І. Шингарева ; під заг. ред. Ю. Г. Сухенка; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компрінт, 2015. 412 с.
204. Технологія молока і молочних продуктів : дайджест. Вип. 41 [Електронний ресурс] / Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка ; підгот. О. В. Олабоді. Київ, 2017. 28 с. URL: <http://library.nuft.edu.ua>
205. Кочубей-Литвиненко, О. В. Технологія отримання та первинного оброблення молока : підручник / О. В. Кочубей-Литвиненко, Н. М. Ющенко ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2013. 211 с.
206. Практикум з технології молока та молочних продуктів : навч. посіб. / О. В. Грек, Н. М. Ющенко, Т. Г. Осьмак та ін. ; Міністерство освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. – Київ : НУХТ, 2015. – 431 с.
207. 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.
208. Савченко О. А. Актуальні питання технології молочно-білкових концентратів : теорія і практика : монографія / О. А. Савченко, О. В. Грек, О. О. Красуля ; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компрінт, 2015. 293 с.
209. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.

210. Технологічні розрахунки у молочній промисловості : навч. посібник / Г. Є. Поліщук, О. В. Грек, Т. А. Скорченко та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2013. 343 с.
211. Технологічні комплекси харчових виробництв : навч. посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. Київ : Сталь, 2017. 456 с.
212. Технологія молочних продуктів : підручник / Г. Є. Поліщук, О. В. Грек, Т. А. Скорченко та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2013. 502 с.
213. Технологія сиру : підручник / Ю. Г. Сухенко, Г. Є. Поліщук, Р. Й. Раманаускас, Т. І. Шингарева ; під заг. ред. Ю. Г. Сухенка; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – Київ : Компрінт, 2015. 412 с.
214. Цехмістренко С. І., Кононський О. І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.
215. Власенко В.В., Семко Т.В., Шаблій Л.М, Лавицький В.П. Технологія молока та молочних продуктів : навчальний посібник. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 330 с. URL: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/11736.pdf>
216. Півоваров О.А., Ковальова О.С. Сучасні методи інтенсифікації солодощення: монографія. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2020. 242 с.
217. Ковальова, О. С., & Мовчан, М. О. (2018). Генно-модифікована сировина у дитячому харчуванні. Проблеми та стан використання ГМО в харчових продуктах: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Львів, 26-27 квітня 2018) Львівський інститут економіки і туризму (ЛІЕТ). Львів: 2018. С.52-55. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/1162>
218. Ковальова, О., Чернець, С., & Гоман, А. (2024). Кисломолочні продукти збагачені безглютеновою зерною сировиною. Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених та студентів, 21 листопада 2024 р. Хмельницький: ХНУ, 2024. С.246-248. URL: https://tksv.khmnua.edu.ua/inetconf/2024/kovaljova_chernecj_goman_2024.pdf
219. Півоваров, О. А., Ковальова, О. С., & Лазаренко, У. І. (2024). Застосування нетрадиційних підсолоджувачів натурального походження для виготовлення сухих сніданків. Наука, технології, інновації, (2), 70-81. DOI: <http://doi.org/10.35668/2520-6524-2024-2-09>
220. Ковальова, О. С., Кошулько, В. С., & Відлога, А. А. (2023). Виробництво йогурту збагаченого високобілковим зерновим наповнювачем. Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості: збірник тез доповідей Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. молодих вчених та студентів, 22 листопада 2023 р. Хмельницький: ХНУ, 2023. URL: https://tksv.khmnua.edu.ua/inetconf/2023/kovaljova_koshuljko_vidloga_2023.pdf
221. Ковальова, О. С. (2023, February). Особливості дезінфекції тари та пакування харчових виробництв. In The 8th International scientific and practical conference “Trends, theories and ways of improving science”(February 28–March 03, 2023) Madrid, Spain. International Science Group (pp. 532-535). DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.8>
222. Kovalova O., Pivovarov O., & Koshulko, V. Effect of plasma-chemically activated aqueous solutions on the process of disinfection of food production equipment. Food Science and Technology. 2022. 16 (3). P. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v16i3.2392>

223. Ковальова, О. С., & Кошулько, В. С. (2023, February). Інноваційна технологія дезінфекції технологічного обладнання харчових виробництв. In The 5th International scientific and practical conference "Prospects of modern science and education"(February 07–10, 2023) Stockholm, Sweden. International Science Group (pp. 609-612). DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.5>
224. Ковальова, О. С. (2021). Дезінфекція харчового обладнання шляхом використання плазмохімічно активованих водних розчинів. Туристичний та готельно-ресторанний бізнес : сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку: матеріали І міжнародної науково-практичної конференції (м. Старобільськ, 16-17 листопада 2021 року). Старобільськ: Вид-во ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»: Старобільськ, 2021. С. 323-325. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/7062>
225. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів : довідник : навч. посібник / О. М. Скарбовійчук, О. В. Кочубей-Литвиненко, О. А. Чернюшок, В. Г. Федоров ; МОН України ; Нац. ун-т харч. технол. Київ НУХТ, 2012. 311 с.
226. Величко, А. С., Кухарук, Р. М., Маслоva, І. В., & Пухлякова, М. В. (2021). Стан та перспективи розвитку ринку молока та молочних продуктів України. Агросвіт, (16), 62-68. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.16.62>
227. Корман, І. І., Лементовська, В. А., & Семенда, О. В. (2022). Маркетингове дослідження ринку молока та молочних продуктів України. Економіка та держава, (4), 62-68. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2022.4.62>
228. Тюха, І. В., & Стеценко, Д. О. (2017). Стан та тенденції розвитку вітчизняного ринку молока та молочних продуктів. Ефективна економіка, 2. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/e4bb2e48-f57f-42f9-a80b-172241de77de>
229. Кухтин М., Горюк Ю. Мікробіологія молочних продуктів вироблених з молока коров'ячого сирого : монографія. Кам'янець-Подільський : ЗВО ПДУ, 2023. 150 с.
230. Lypych, L., Tovsteniuk, O., & Bilyk, I. (2016). Моніторинг стану та перспектив розвитку ринку молока й молочних продуктів України. Economic journal of Lesya Ukrainka Volyn National University, 2(6), 56-63. DOI: <https://doi.org/10.29038/2411-4014-2016-02-56-63>
231. Бишовець, Л. Г., & Камінський, М. О. (2021). Аналіз асортименту молочних продуктів з функціональними властивостями. Сучасні тенденції та стратегії розвитку туристичного та готельно-ресторанного бізнесу, 271. URL: <https://surl.li/nhmixe>
232. Савчак, В. В. (2021). Функціональні інгредієнти, що підвищують харчову та біологічну цінність молочних продуктів. Сучасні напрями розвитку економіки, підприємництва, технологій та їх правового забезпечення, 671. URL: <https://surl.li/oxaeti>

Навчальне видання
(українською мовою)

Півоваров Олександр Андрійович
Ковальова Олена Сергіївна
Кошулько Віталій Сергійович
Тертишний Олег Олександрович

Інноваційні технології та обладнання переробки МОЛОКА

Навчальний посібник

Друкується в авторській редакції
Відповідальний за випуск О.А. Півоваров
Комп'ютерна верстка О.С. Обдимко

Оформлення згідно зі стандартами книговидавництва

Підписано до друку 03.02.2026 р. Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум.-друк. арк. 26,85. Обл.-вид. арк. 27,09.
Наклад 50 прим. Зам. № 1/26

Видавництво ФОП Обдимко О.С.,
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 О.С.
49008, м. Дніпро, вул. Уральська, 17