

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 2025

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, завідувач 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., Тertiшний О.О. Інноваційні технології та обладнання переробки молока: Навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2025. 461 с.

ISBN

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

©Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С., Тertiшний О.О.

2025

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 УНТ (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 грибками псування при консервуванні молочних продуктів	112
2.13. Пробіотики	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.....	153
Розділ 4. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МОРОЗИВА НА ОСНОВІ МОЛОКА ТА ІНШОЇ СИРОВИНИ	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 у великій кількості	162
4.4. Біоактивні білки, пептиди та амінокислоти	167
4.5. Сироватка та її продукти	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: з кожним роком усе більше й більше	174
4.11. 6 концепцій стосовно майбутнього 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	185
4.12.8. Наноліпосоми	186
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 сублімаційної 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	
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 в маслі	270
7.9. Видалення холестерину мікроорганізмами	272
7.10. Видалення β -циклодекстину (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	277
7.14. Додавання у масло побічних продуктів переробки томатів	278
7.15. Додавання у масло порошку фундука	278
7.16. Додавання у масло екстракту кориці	279
7.18. Масла, приготовлені на функціональному молоці	280
7.18.1. Масло з овечого та козиного молока	281
7.18.2. Масло з верблюжого молока	284
7.19. Замінники вершкового масла новою сировиною	286
7.19.1. Нові рослинні олії	286
7.19.2. Мікробне масло	287
7.19.3. Масло від комах	288
7.19.4. Клітинне масло	288
Питання для самоконтролю.....	289
Рекомендована навчальна література.....	291
Розділ 8. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СИРУ.....	292
8.1. Сири, їх склад і різноманіття технологій виготовлення та споживання ...	292
8.2. Характеристика різних сирів	295
8.3. Процеси бродіння сиру	297
8.4. Розвиток технологій промислової переробки молока та її переваги	299
8.5. Смак сиру: походження та виробництво	301
8.6. Ліполіз і метаболізм жирних кислот	303

8.7. Протеоліз і метаболізм амінокислот	305
8.8. Прогрес у дослідженні технології виявлення смаку сиру	307
8.9. Критичні контрольні точки сиру	309
8.10. Різноманітність дріжджів у сирі 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 рослинні 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 роботів 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	396
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	399
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	413

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	418
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	437
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	439
13.2.4. Деревина	440
13.3. Оздоблення поверхонь молочного обладнання	441
Питання для самоконтролю.....	442
Рекомендована навчальна література.....	443
ЗАКЛЮЧЕННЯ	444
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	446

ВСТУП

Сьогодні наявні 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 виділення 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 просунуті інноваційні технології 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 технологій 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 рівень. Для післявоєнного періоду така ідеологія відбудови молочного виробництва в Україні має стати найбільш актуальною. Автори виражають щире подяку колегам та фахівцям у галузі харчових технологій за поради та рекомендації в процесі підготовки навчального посібника.

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю 181 Харчові технології, першого (бакалаврського) і другого (магістерського) рівнів вищої освіти. Він може бути корисним в процесі вивчення дисциплін «Інноваційний інжиніринг харчових виробництв», «Новітні технології молочних, м'ясних та рибних продуктів», «Мікробіота, пробіотики та пребіотики», «Біотехнологія харчових виробництв», «Технології молочних, м'ясних та рибних продуктів». Також доцільно користуватись ним для роботи на аудиторних заняттях та для самостійної підготовки здобувачів денної і заочної

форм навчання. Крім того, його доцільно використовувати для наукових працівників, аспірантів і фахівців, які цікавляться проблемами інноваційного інжинірингу харчових виробництв.

Автори висловлюють щиру подяку колегам за зауваження та корисні поради у період підготовки посібника до друку.

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 діетилетер, хлороформ та бензен.

Свіже молоко містить також газу 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} , РР, С, Н, А, D, Е; 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 етерів гліцерину і монокарбонових жирних кислот, фосфоліпідів (лецитину, кефаліну та ін.), стеринів, жиророзчинних вітамінів та ін. Вуглеводи в молоці представлені на 90% лактозою (молочним цукром) 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 кишечника 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 лактоза 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, 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 пастерізацію.

Молоко ослине. 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 ослиним молоком з точки зору науки і поживності цієї речовини. Його поживні властивості близькі до властивостей людського молока. Зрештою, ослине молоко почали давати дітям з алергією на білок коров'ячої його різновиди.

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. Ослине 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 ослиному 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 уповільнює розвиток бактерій). Вміст води в ньому теж можна порівняти з кількістю води в людському продукті. Особливість осячого молока-це низький вміст казеїну - тобто білка, що є алергеном. Крім того, воно має більше вітаміну 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. Проводиться також на його основі косметика проти зморшок. Креми з ослиним 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 осяче молоко було цінним заміном 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 захворів серйозно через виснаження і зайвого

стресу, лікар з Константинополя поставив імператора на ноги, годуючи його саме грудним 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 настільки висока. Історія розведення ослів налічує, правда, більше 4,5 тисячі років, але тварини були, в основному, використані як сила тяги і транспорту. 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 ослячого 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 ослиним молоком застосовували в косметології ще в стародавні часи. Найбільш відомою людиною, який регулярно купався в ньому була, звичайно, Клеопатра-королева 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 Імператриці Сісі, які з великим успіхом застосовували цей напій для щоденного догляду за тілом. І за відгуками, креми з ослиним молоком дійсно покращують стан шкірних покривів людини.

Ненасичені жирні кислоти (омега-3, омега-6), добре впливають на поглинання вітамінів. Завдяки цьому, за відгуками, ослине 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 ослиного 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. Доктора-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 в разі 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 ослине 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.

Оленьє молоко. Багато людей можуть здивуватися, почувши про існування оленього 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 оленьє 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 БЖУ (білків, жирів, углеводов), 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 терпкому і різкому смаку, 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 територіях: 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; одnogорбий верблюд, дромедар, арабський верблюд.

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

В аналогічних умовах розведення верблдяче 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 складу 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.

Під **сичужною згортаємістю** 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.

Козяче молоко багате вітаміном А і ніацином, містить трохи більше заліза і магнію від коров'ячого молока.

Ніацин, також відомий як нікотинова кислота, є органічною сполукою та вітаміном вітаміну В₁, необхідної поживної речовини 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 термостійке (витримує t=130 °С протягом 19 хвилин), тому що містить більше іонізованого кальцію.

У козячого молока лужна реакція, внаслідок чого у разі загострення виразки шлунка 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. З козячого молока виробляють ропні сири, у тому числі бринзу.

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 раза 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 $21 \div 23$ °С, 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/м³ 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 за підсисний період, в США – Polypay Dorset, вівці якої виробляють від 45,35 до 90,71 кг молока за підсисний період. Молочна продуктивність овець в Україні сягає 135–150 кг за підсисний період.

Підсисний 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 амінокислотному складу. 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 раза (18–20 %), жиру – в 1,8 раза (6,5–7,2 %), білка – в 1,7 (5,5–6 %), а його енергетична цінність вища у 1,5 раза. З овечого молока виготовляють різні види твердих і м'яких сирів: рокфор, пікаріно, тушинського, кобійського, осетинського, качкавал тощо.

Буйволяче молоко. Молоко буйволиці є продуктом високої харчової цінності. Буйволяче 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 буйволячого молока становить 1010 ккал на 1 кг продукту. Молоко буйволиці містить більше поживних речовин, ніж коров'яче молоко. Буйволяче 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, серечно-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 перетравляти молоко. Багато людей середньої 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, та джерелами забруднення та їхній вплив на здоров'я людини. Порівняльний підхід підкреслює низьку ефективність і наслідки процесу пастеризації 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 (забезпечується ліпідами, лактозою та в надлишку білками), незамінні амінокислоти та аміногрупи, необхідні для біосинтезу незамінних амінокислот (забезпечених білками), незамінних жирних кислот, вітамінів, неорганічних елементів і води.

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 кетонних 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 інгібувальних 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 вимірюваних даних масову частку сухого молочного залишку, знежиреного молочного залишку, міра 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 перекалібровувавши 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 – 150 аналізів за годину. Має

можливість аналізу не лише сирого молока але і пастеризованого, а також молочних продуктів (вершки, йогурт, сметана. 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 забрудненням, головним чином залишкам пестицидів, металів, мікотоксинів, гормонами та іншими, які

надходять до корови через годування або введення препаратів виробниками. Таким чином, молоко може містити небезпечні речовини біологічного або хімічного походження.

Незважаючи на те, що пастеризація була ефективним антимікробним методом і сприяла зниженню багатьох захворювань, кілька інфекційних епізодів, пов'язаних з пастеризованим молоком, продовжували відбуватися, головним чином, коли в сирому молоці є надмірна популяція мікроорганізмів, що збільшує запас виживання, і через забруднення після пастеризації. Найбільша проблема патогенних мікроорганізмів у пастеризованому молоці полягає в тому, що вони зберігаються, не викликаючи жодних органолептичних змін, що підвищує санітарний ризик, оскільки споживач не може підозрювати їхню присутність, що свідчить про те, що пастеризація має деякі недоліки в лікуванні патогенних мікроорганізмів.

У міру зростання чисельності населення та промислового зростання з'явилися нові забруднювачі, і разом з цим забруднення коров'ячого молока також зросло не лише сполуками біологічного походження, але й сполуками хімічного походження, як згадувалося вище. Однак пастеризація залишається єдиним усталеним 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 для забезпечення достатньої якості споживаного молока. Враховуючи ці докази, необхідно ідентифікувати різні типи забруднень у сирому/пастеризованому коров'ячому молоці та проаналізувати застосування альтернативних процесів для усунення або деградації 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 через вплив навколишнього середовища, обладнання, сховищ, брудних труб тощо. Хімічне забруднення коров'ячого молока відбувається з кількох джерел:

застосування агрохімікатів, використання легальних або нелегальних ветеринарних продуктів, корми та корми, забруднені природними токсинами, або через неправильне використання хімікатів під час виробництва молока, обробки та етапів пакування.

Непряме зараження пов'язане з надходженням забруднюючих речовин як з навколишнього середовища, так і з ветеринарних речовин. Найпоширенішими забруднювачами навколишнього середовища є мікотоксини, пестициди та метали, що споживаються великою рогатою худобою з кормами, кормами та водою. Крім того, антибіотики та гормони вводять корові перорально, ін'єкційно або у вигляді внутрішнь артеріальних 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 чищення, 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 молока, вони не є найбільшим відсотком зареєстрованих випадків. 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 погану практику 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 під час 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 транспортуванні. 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, хоча деякі дослідження повідомляють про наявність мікроорганізмів у пастеризованому молоці, сумнівно, що це ефективний процес 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 бичачого 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 ці різні 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-Барреса 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 виявлених кількостях у сирому молоці, 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 намочують для лікування ектопаразитів, і через забруднений корм і фураж, останній є основним джерелом проникнення.

Виявлено наявність залишків фосфорорганічних пестицидів (малатион, метилпаратіон, діазинон, етіон). Середні виявлені концентрації становили 0,032–0,78, 0,13, 0,32–0,74, 0,010 мкг/л для малатиону, метилпаратіону, діазинону та етіону відповідно. Фіпроніл і хлорпірифос були іншими пестицидами, знайденими у зразках води, яку подають худобі. Було також ідентифіковано ДДТ (дихлордифенілтрихлоретан), альдрин, гептахлорепоксид, ліндан, метоксихлор, 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. що 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 повідомлено про концентрацію $0,02 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ залишку ДДТ. Присутність циперметрину, хлорпірифосу, цігалотрину та дельтаметрину в кормах повідомлялося в діапазоні середніх концентрацій між $1,03\text{--}6,01 \text{ нг г}^{-1}$. Окрім пестицидів у кормах, у кормах виявлено також залишки ліндану, ДДТ, фенвалерату, етіону, малатиону, профенофосу. Середні їх концентрації коливалися в діапазоні $0,63\text{--}4,05 \text{ нг г}^{-1}$. 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, метилпаратіону, 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 споживача. 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, все ще присутні, 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 виявляються в коровах. молоко. 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 знаходяться в навколишньому середовищі 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, а також у пестицидах, це може бути ще одним із основних шляхів забруднення.

У літературі повідомлялося про наявність кількох важких металів у сирому коров'ячому молоці. Метали, найменше знайдені в 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 утворенням раку легенів, 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 стимуляторів 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 інтрамаммарне застосування. Однак інтрамаммарні 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 в молоці, були рифаміксин, гатифлоксацин, спіраміцин і ломефлаксацин, без вказівок у дослідженнях щодо мети їх застосування у великої рогатої худоби.

Споживання зараженого 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 людей. 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 перший 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, що поставило під загрозу безпеку цього продукту. 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 варіння 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, постачання великої рогатої худоби гормонами 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, оскільки 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 дослідженнях у молоці, були тестостерон, соматостатин і кортизон. Наявність естрогенів у коров'ячому молоці пов'язують із такими захворюваннями, як рак молочної залози та стани шлунково-кишкового тракту. Інші захворювання, пов'язані з наявністю гормонів у коров'ячому молоці, включають акне, рак простати, рак матки 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. Основні типи та їх особливості:

Парне 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, такі як *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 135°C і протягом мінімального часу 1 другий. 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 (B₁, B₆, B₁₂ і C), 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 свіжовидоєного молока воно втрачає свої корисні властивості, через це його потрібно терміново піддавати первинній обробці. Свіже молоко має температуру приблизно 35–37 °C, 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 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)

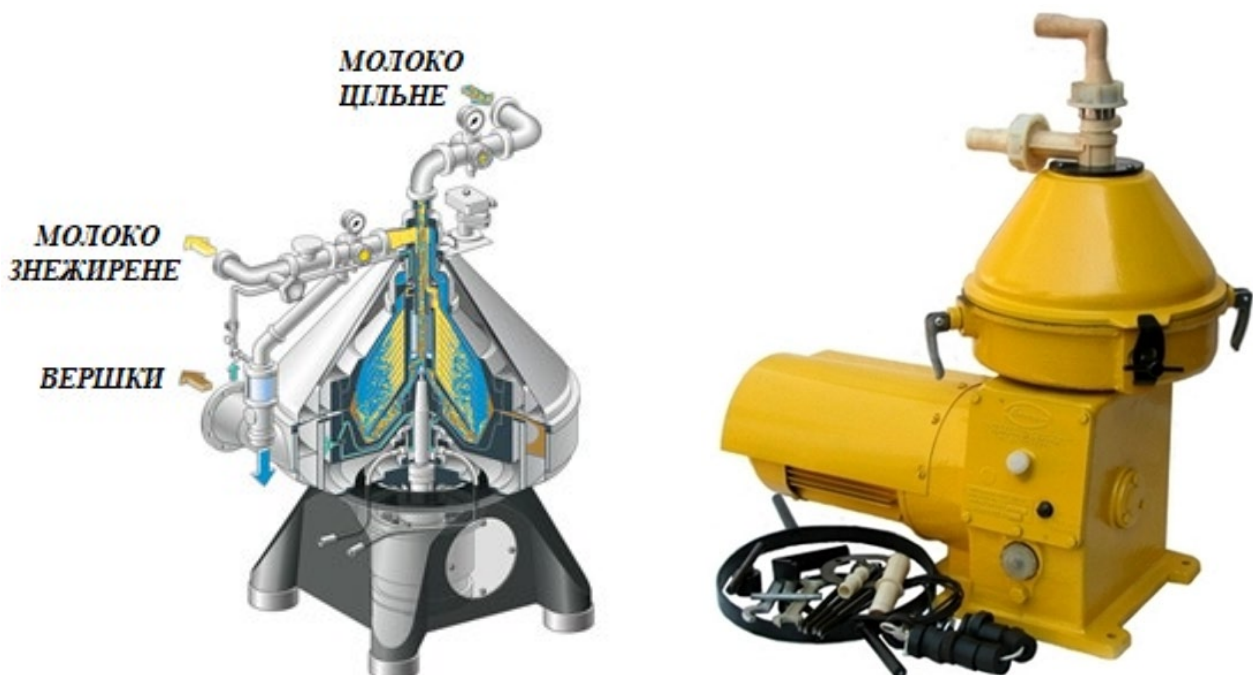


Рис.2. Сепаратор ОМ-1А: а) схема сепаратора; б) загальний вигляд [5]

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 за великих об'ємів 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 транспортують до молокопереробних заводів і загалом піддається термічній обробці протягом кількох днів доїння для запобігання псуванню та продовженню його терміну зберігання. Очікуваний термін придатності молока відображається за датою «розпродажу» або «код-дати».

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 охолоджується. 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;
- охолодження;
- 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.

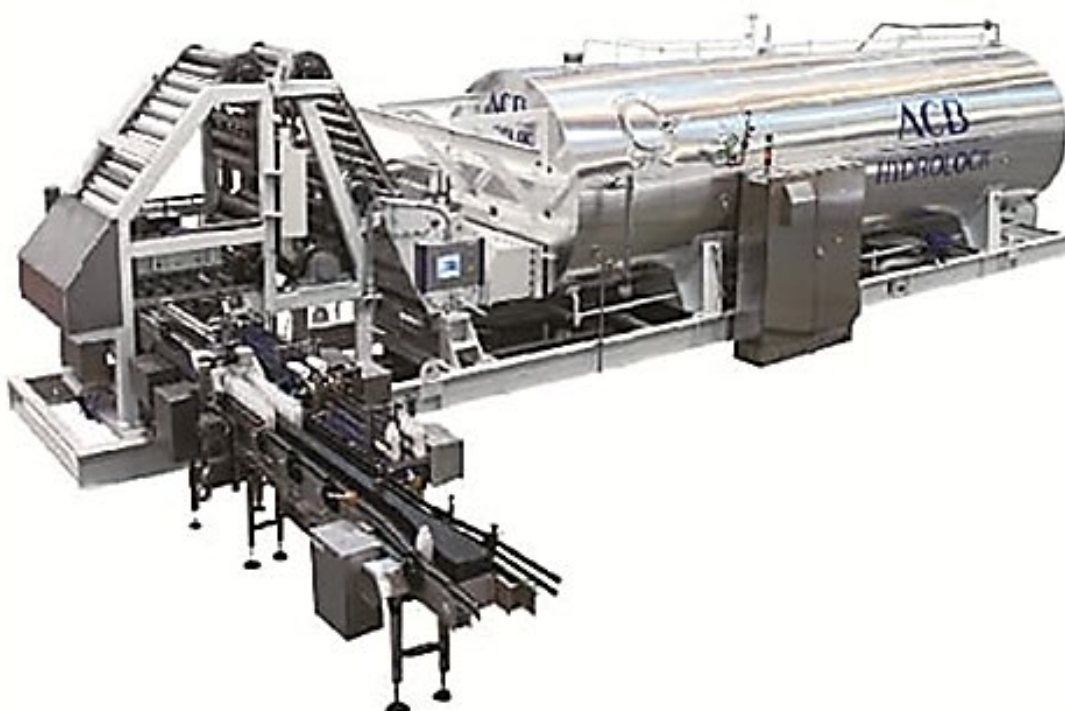


Рис. 4. Стерилізатор безперервної дії для молочних напоїв [7]

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, що 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 процесу спеціально для молока. Гомогенізація – це механічна обробка, яка призводить до зменшення розміру та збільшення кількості та загальної площі поверхні жирових кульок у молоці.

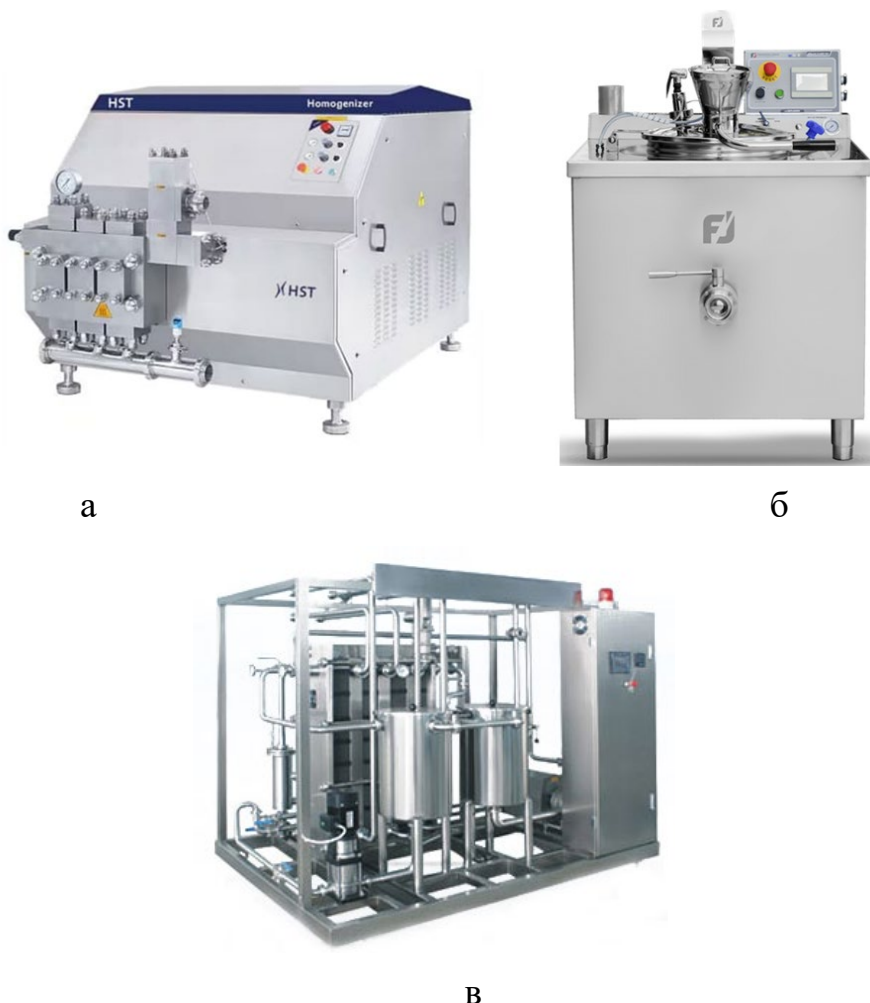


Рис. 5. Гомогенізатор високого тиску для переробки молока – а, машина для пастеризації молока – б, пластичнчастий пастерізатор – в [8]

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, ковш 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 його 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 продовжуючи 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 застосувань. Розроблені з інтуїтивно зрозумілим керуванням і самодіагностикою, пастеризатори прості в експлуатації та обслуговуванні, пропонуючи мінімальне споживання енергії, дотримуючись 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;
- зручний для користувача з інтуїтивно зрозумілим керуванням і самодіагностикою;
- 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.

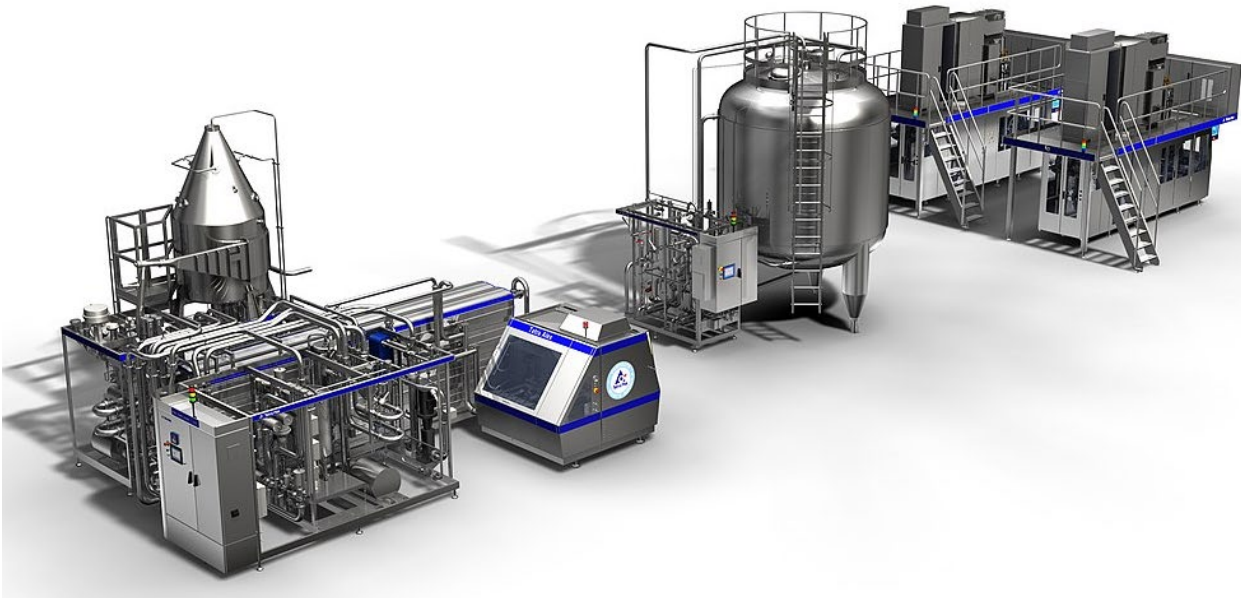


Рис. 7. Лінія ультрапастеризації Tetra Pak (Швеція) [10]

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

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 або посудини, 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. ліній, які не потребують залишків антибіотиків і мають низьку кількість бактерій. Постачальники зазвичай ретельно перевіряють ранчо, 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 консервантів, зберігаючи природний смак і поживну цінність молока. УНТ-молоко може зберігатися при кімнатній температурі кілька місяців, не зіпсуючись. Молочні продукти зі смаком УНТ: крім чистого молока, виробнича лінія також може виробляти різноманітні молочні продукти зі смаком УНТ, такі як шоколадне молоко, полуничне молоко тощо, додаючи приправи 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 та аварійно-рятувальних засобах завдяки своїй зручності, тривалому терміну зберігання та відсутності потреби в охолодженні.

Особливості та переваги:

1. Ефективне виробництво: потужність обробки може коливатися від 2 тонн/день до 1000 тонн/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 швидкопсувних продуктів.

3. Висока якість продукції: високі вимоги до проектування, виробництва та інженерного монтажу забезпечують першокласну якість готової продукції на лініях переробки молока. УНТ молоко після високотемпературної обробки може ефективно знищувати бактерії та мікроорганізми, тим самим подовжуючи 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 HACCP. 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*, де 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 озonom протягом 15 хвилин. Однак це вплинуло на харчові цінності. Вплив молока 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*.

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 ($0,0165\text{--}0,0184$ і $0,0213\text{ год}^{-1}$), які є більш ефективними для видалення малатіону з вищими константами швидкості розпаду. ($0,0218\text{--}0,0420\text{ год}^{-1}$). Нажаль, не зважаючи на те, що застосування молочнокислих бактерій є ефективним методом видалення діазинону, диметоату та метилпаратіону в коров'ячому молоці, воно не є селективним, оскільки воно не може усунути всі досліджувані орґанофосфати.

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 мікроорґанізмів (*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 фосфорорґанічних 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 гідрогелями 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,

доксидикліну, 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 невигідно 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 споживача, 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 на 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. 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 буйволяче молоко?
10. У ході яких процесів відбувається забруднення коров'ячого молока?
11. Які види забруднень коров'ячого молока є типовими?
12. Якими слід вважати найпоширенішими забруднювачами навколишнього середовища, що споживаються великою рогатою худобою?
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. 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. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Цехмістренко С. І., Кононський О. І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.
10. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф. В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. 340 с.

Розділ 2. 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 споживчів, 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 – 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 енергія, щоб задовольнити потреби в енергії 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, що 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 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 сьогоднішній молочній промисловості 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. 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 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 витрат під час обробки, включаючи автоматизовану систему очищення на місці (CIP – Cleaning in Place), теплообмінник зі скребковою поверхнею з похилою плівкою, автоматизовану розпилювальну сушарку, мембранну обробку (ультрафільтрація (UF – Ultrafiltration), зворотний осмос (RO – Reverse Osmosis), мікрофільтрація (MF – Microfiltration), нанофільтрація (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 у інактивації бактерій як у харчових системах з високим, так і з низьким вмістом кислоти. Це може вплинути на якість обробленого молока шляхом зміни основних властивостей молочних інгредієнтів.

Конкретна обробка згадується в документах 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 посудину, 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 тип мікроорганізму. 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 застосовуваної 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, фактора 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 бичачому 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 їх емульгувальних 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 бичачого 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 пропускна 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 зменшували на 5–6 логарифмічних циклів.

Технологія НРР повністю визнана глобальними регуляторними органами як антимікробний процес із чудовими можливостями для інактивації багатьох харчових патогенів, що викликають занепокоєння. Системи НРР Quintus створені для довговічності, мають високу довговічність і продуктивність, а також менші вимоги до обслуговування. Унікальні механічні та цифрові рішення, які використовуються в системах НРР Quintus, забезпечують максимальний час безвідмовної роботи та продуктивність, мінімізуючи загальну вартість володіння.



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

Визнано, що нетермічний метод НРР інактивує патогенні мікроорганізми, що передаються харчовими продуктами, і забезпечує довший термін зберігання в холодильнику без впливу на смак або харчові властивості, що може бути у випадку 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.

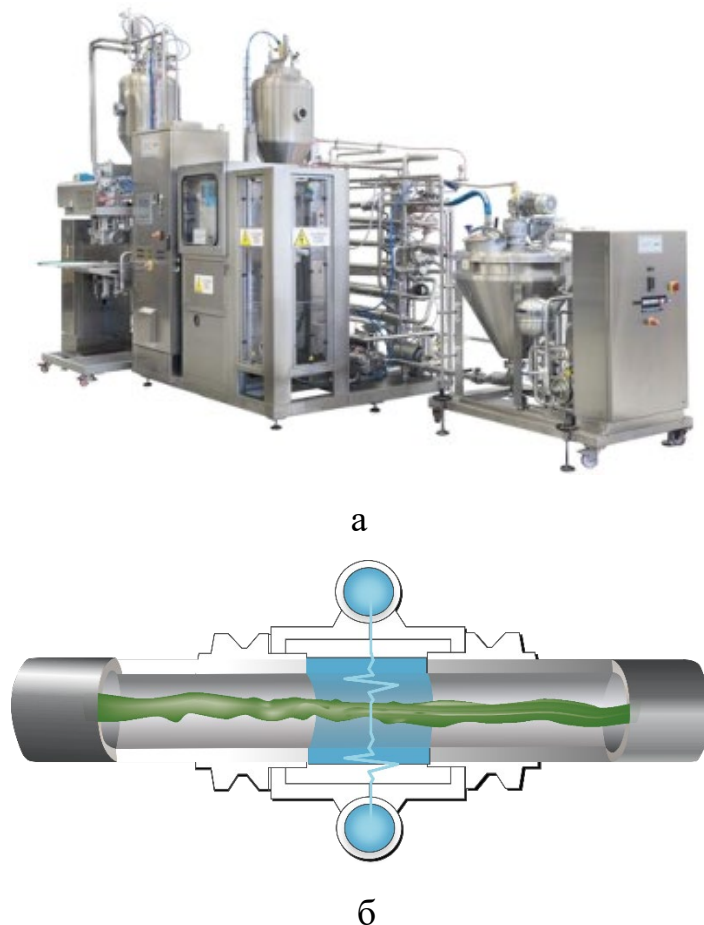


Рис. 9. Установа для обробки молочної продукції в імпульсних електричних полях (PEF) а) та схема імпульсного процесу обробки б) [12]

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

Електропорація – найсучасніший спосіб введення 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 ~15–60 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 вплив PEF на поширені патогени, пов'язаний з хворобами харчового походження було оцінено. 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 є "рясним" ферментом.

Як показали наукові звіти, опубліковані за останнє десятиліття, ступінь інактивації, отриманий під час PEF-обробки молока, необхідно покращити, щоб досягти більшого зменшення кількості бактерій, інактивації ферментів і більшої ефективності порівняно з термічною 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 характер 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 також 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 загального 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 техніку 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 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 $<40^{\circ}\text{C}$) 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 кислоти, оцтової кислоти, октанової кислоти, гексанової кислоти та деканової кислоти) та лактони (δ -додекалактон та δ -декалактон) були виявлені серед сирого, термічно обробленого та PEF-обробленого молока. 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

класифікуються як чітко сприймаються 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 легкості 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 для зниження потреби в енергії для досягнення результатів у порівнянні зі стандартною пастеризацією та переведення PEF на промисловий рівень як конкурентоспроможної технології необхідний подальший розвиток обладнання для PEF. PEF все ще надто складний, щоб легко розширити його від пілотного до промислового. Зазначається, що обробка PEF обійдеться дорожче для обробки тієї самої кількості рідкої їжі порівняно 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 потокових виробничих ліній для пастеризації рідких харчових продуктів. Основним недоліком технології PEF є її значною мірою залежать 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 усередині крапель, так і в навколишній рідині, включаючи інтенсивні сили зсуву, турбулентність і ефекти мікропотоку. 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 та 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 ультразвуки 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 досліджували застосування ультразвуку високої інтенсивності у ферментації молока та відзначали 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 трансгалактозилування 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) викликає майже 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, обробка може викликати 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 масштабність. Однією 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 складатиметься 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 визначення, 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 застосуванням 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 технікою, 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 тривалої тривалості імпульсів, що підвищує температуру, що інактивує бактеріальні клітини, та фотофізичним через 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 ксеноною газом 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 залежність ефективності від багатьох параметрів порівняння даних за технологією УФ-С дуже складне. 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 рожевому та шоколадному 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 впливають на ефективність. 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.

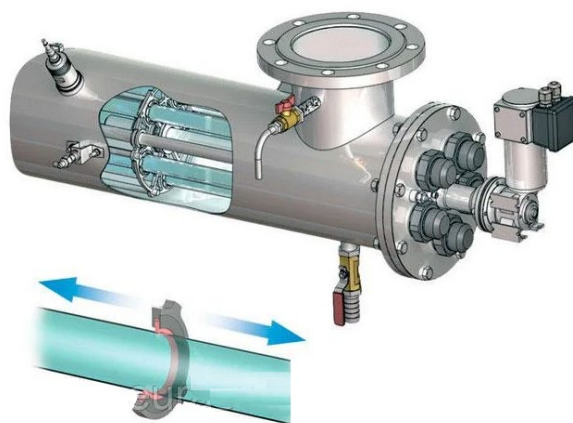
Вегетативні бактерії є найбільш чутливими до обробки УФ-С, дріжджі є більш стійкими, а найбільш стійкими є віруси та найпростіші, залежно від навколишніх факторів, згаданих вище. Що стосується вегетативних бактерій, то грампозитивні бактерії більш стійкі до ймовірної інактивації УФ-С завдяки зовнішньому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

Що стосується спороутворюючих бактерій ультрафіолетове світло УФ-С ефективно 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.

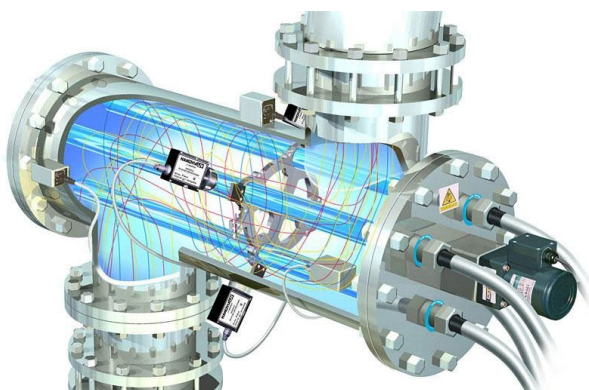
Використання тонкоплівкового УФ-С (рис. 11) (ультрафіолетового С) реактора з елементами, що направляють потік, дозволило зменшити *E. coli* та *L. innocua* на 4,58 log та 3,19 log відповідно. Було використано реактор UV-C для інактивації аеробних бактерій, досягнувши зниження на 4,60 log і 4,70 log при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



а



б



в



г

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

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 озonom 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 повинні і слід провести подальший аналіз пошкоджених клітин і їх відновлення після 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 вітаміну в молоці та кількості проходжень 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 переокислення 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 присмаки через специфічні сполуки та «горілий» присмак. Однак, коли свіжий кашарський сир 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 на замовлення 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, підвищення безпеки та скорочення карантину та після збору врожаю. Опромінення має потенціал для зниження алергенності 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 або розфасовані харчові продукти отримані з прискорювачів, які виробляють контрольовану кількість рентгенівського випромінювання високої енергії 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. 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 цільовими мікроорганізмами будь-де в межах цього діапазону. Незважаючи на те, що гамма (γ) промені можуть бути простими в концепції, на практиці все є більш складнішим. Радіоактивні ізотопи виробляються піддаючи 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 ізолювано кількома шарами бетону.

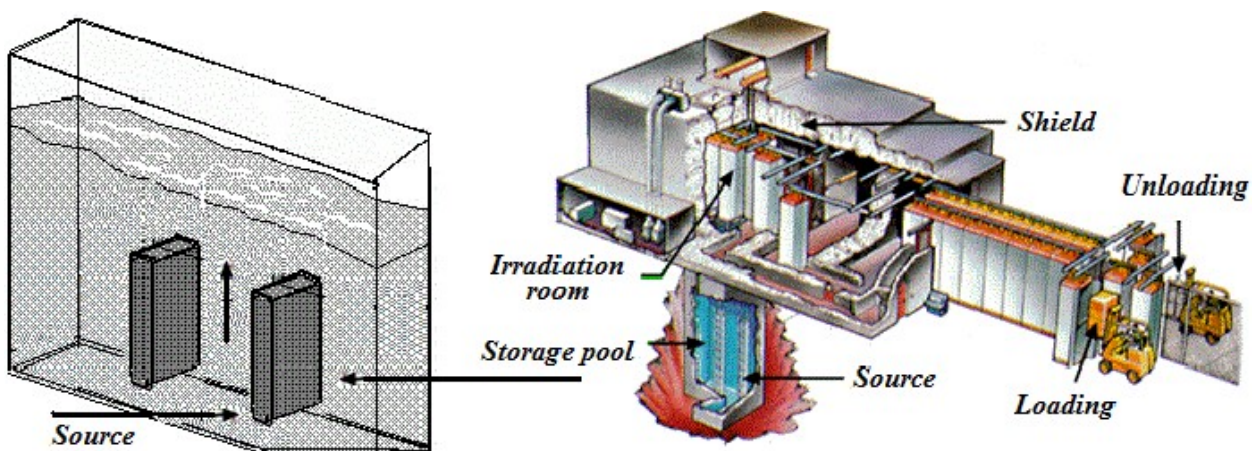


Рис.12. Схема застосування обладнання для (γ) випромінювання молока та молочних продуктів [15].

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 кімната опромінення.

(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 вбереться радіаційної енергії та захисту працівників.

(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 перед гамма-випромінюванням включають можливість відключення, джерело високої інтенсивності випромінювання, короткий час опромінення, повністю контрольований процес, малі зони обробки та простота конвеєрної системи. Електронний промінь використовується з діапазоном 0,3–12 МеВ. Вимоги, пов'язані з будівництвом, валідацією та використанням установок на основі прискорювачів, 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 сировини для подальшої переробки, а споживачі використовують молоко для приготування їжі та напоїв. Однак сире молоко та його похідні є основними джерелами харчових інфекцій серед молочних продуктів. Мікробіологічне забруднення відбувається

на різних стадіях заготівля (коров'яче вим'я), обробка (додані інгредієнти) і розподіл, отже потенційно небезпечним може бути весь ланцюг поставок. Бактерії колиформні, психротрофні і мезофільні та молочнокислі бактерії (LAB), *Listeria monocytogenes*, види *Salmonella*, та *Staphylococcus aureus*, як повідомляється, є найпоширенішими патогенами мікроорганізмів псування, присутні в багатьох харчових продуктах і здатні виживати в молоці та молочних продуктах продуктів; усі вони були причинами великих інфекційних спалахів харчових продуктів і скорочення терміну зберігання.

Через економічні обмеження пошук екологічніших технологій, ефективнішої стерилізації молочних продуктів мають 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 через покращені сенсорні властивості. 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 опромінених молочних продуктах також перешкоджало використанню процес. 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 опромінений 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 а також 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 буйволів. Сир який є гарним джерелом білка, кальцію, фосфору та вітаміну В12 і який утворюється підкисленням 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, як і 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 сиру і зберігання 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 посилення. Доведено, що термін придатності вакуумно упакованого сиру чеддер залежить здебільшого від природи забруднювача.

В опромінених зразках не було виявлено коліформ, 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 збільшив 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 свіжою молочною кислотою запах у поєднанні з насиченим, приємним і між злегка та інтенсивно кислим смаком. 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 поділ і розмноження, 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 кількості патогенів присутній 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 процес і композиція 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 розвивається при нагріванні.

Утворення поперечних зв'язків відбувається в опромінених харчових продуктах плівок 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 опромінень 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 спостережуваної 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 опромінення доза і концентрація білка.

Переваги опромінення молочних продуктів. Судячи з попередніх і поточних досліджень, застосування нетермічної консервації такі методи, як опромінення, можуть забезпечити безпечну та здорову їжу з перевагами для навколишнього середовища. Існує прогалина для застосування опромінення в молочному секторі, якій через складність продукції приділено мало 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.

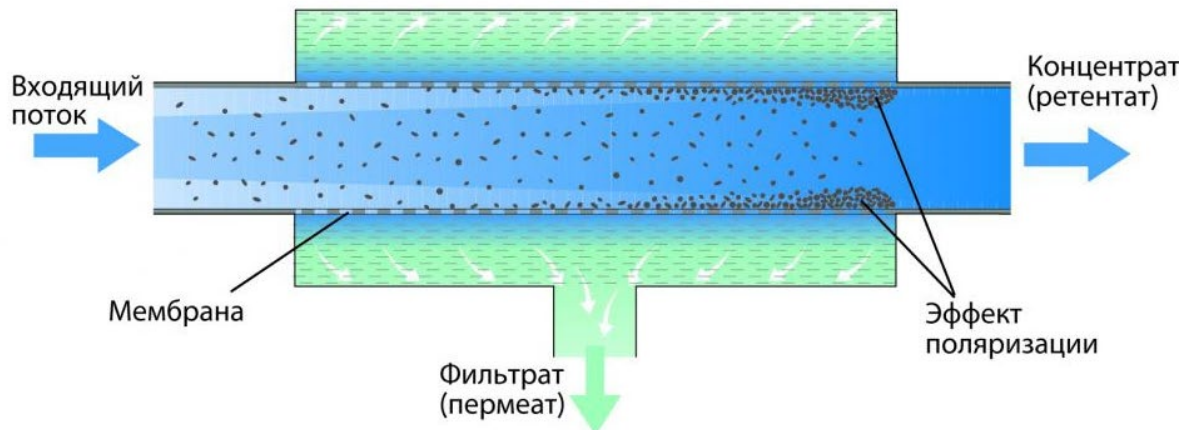


Рис. 13. Схема мембранної фільтрації [16]

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 і широко використовуються.



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 може 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 дорогоцінних 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 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 забезпечило продукти вищої якості та створило 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 установка 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 (рис.17, табл.3).



Рис. 17. Установка 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	1 МПа
Вміст білку у сухих речовинах	34 – 85%

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



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

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



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

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

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 та 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, крім молочних продуктів, 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 стравами, біотехнологічне втручання на різних етапах виробництва та переробки молока стало вирішеним. Вона забезпечує смачною, поживною, корисною, зручною, стабільною та безпечною їжею. Поки тривають дослідження та розробки, 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 приноситиме 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 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 єдиний смак їжі. Молочнокислі бактерії (LAB – Lactic Acid Bacteria) вважаються чудовими біоконсервантами. Інші LAB, такі як нізин, 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 ендолізینی, використовуються для біоконсервації та мають багатообіцяючу роль у зберіганні молока. Оскільки вони є економічно важливими завдяки таким суттєвим перевагам як нетоксичність, доступність, неімунногенність і широка активність; їх вважають хорошим засобом для біоконсервування.

На молоці та його продуктах можуть розвиватися два види бактерій: бактерії псування, та патогенні бактерії. Бактерії псування викликають неприємний смак, запах і смак, тоді як патогенні бактерії не виявляють цих симптомів викликати хворобу. Основні принципи збереження полягають у контролі над мікроорганізмами шляхом їх знищення та їх спор ферментів і контролювати всі фізичні джерела, які забезпечують 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 їх користь використання для збереження.

2.11. Роль молочнокислих бактерій у консервуванні

Молочнокислі бактерії *Lactoccus* 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 бактеріоцини. Крім того, молочнокислі бактерії можна використовувати для виробництва пробіотиків.

Бактеріоцини використовували як біоконсервант різними методами як окремо, так і в поєднанні з іншими методами. Недавнє застосування бактеріоцинів у молочних продуктах для боротьби з патогенами включає їжа з молочнокислими бактеріями, які викликають вироблення бактеріоцинів. Переважно молочні продукти, виготовлені з пастеризованого молока, яке зберігається при температурі холодильника, дозволяє розмножувати бактерії, такі як *L.monocytogenes*. Таким чином, обсеменіння може статися на пізніх стадіях обробки молочних продуктів. Застосовують також бактеріоцини для інших цілей, таких як ферментація їжі, покращення смаку та дозрівання сиру. Вони також допомагають покращити безпеку молочних продуктів за допомогою різних штамів шляхом поєднання різних методів консервування, що забезпечують високий захист, ніж один штам. Ці бактеріоцини корисні для профілактики та зменшення кишкових патогенів. Існують деякі типи бактеріоцину, які використовуються для профілактики хвороботворних мікроорганізмів, що передаються через молоко.

Бактеріоцини, очищені чи виділені бактеріями, що продукують бактеріоцин, є чудовою альтернативою хімічним консервантам у молочних продуктах, оскільки вони не становлять ризику для здоров'я. Бактеріоцини можна додавати до молочних продуктів у очищеному/сирому вигляді, як бактеріоцин-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 організми, які збільшують чи урізноманітнюють реакцію антигенів.

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

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 II. Бактеріоцини та комерційно доступні для збереження молочних продуктів. Ці бактеріоцини більш ефективні, ніж інші класи. Вони стабільні у водних розчинах, стійкі до рН і мають мало вплив на 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, а також як пробіотики. 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 до погіршення сенсорних продуктів у деяких сирах, але вони також відіграють важливу роль у дозріванні сиру та розвиток аромату. Безпечні та комерційно доступні штами ентерококів використовуються в їжу та як пробіотики 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 поширені в продуктах харчування. різного походження. Це віруси, які спеціалізуються на зараженні та розмноженні бактерій і нешкідливі для хазяїна характерні для людини та інших живих організмів. У біоконсервації бактеріофаги можуть працювати як симбіотики асоціації з ферментуючими організмами під час бродіння. Це дуже ефективний спосіб приготування їжі обробки та ефективно зменшує наявність сальмонелли у виробництві чеддера

Ендолізини. Ендолізини це фагові лізини, які називаються фагово-кодованими пептидоглікан-гідролазами та використовуються з більшості бактеріофаги 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 *S. Aureus* забруднення молока. Ендолізини також відіграють важливу роль у переробці молока, зокрема в ендолізинах для знищення *S.aureus* в пастеризованому молоці.

Незважаючи на те, що нещодавні досягнення в інноваційних сучасних технологіях, застосованих у харчовій промисловості, і більш суворі мікробіологічні стандарти харчової безпеки зменшили випадки харчових захворювань і псування продуктів, вони не повністю виключають ризики для здоров'я, пов'язані з такими продуктами харчування. Як наслідок, харчова промисловість постійно досліджує нові методи виробництва готової до вживання їжі з мінімальною обробкою, яка зберігає свою поживну цінність, смак 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 грибками 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 підходи зазвичай застосовуються

разом. Профілактичні методи вказують на методи, які можуть уникнути забруднення або під час виробництва та обробки продукту, такі як пакування в асептичних умовах, використання систем фільтрації повітря, належна виробнича практика та впровадження системи НАССР.

НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point) – система аналізу ризиків, небезпечних чинників і контролю критичних точок. Система НАССР є науково обґрунтованою, 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 спороношення, не рухаються (за деякими винятками, деякі штами *Latilactobacillus curvatus* рухливі), та недихаючих грампозитивних коків або паличок. LAB, всюдисуща бактеріальна група, зустрічається в середовищах, багатих доступними вуглеводними субстратами, включаючи ніші ферментованих молочних продуктів, м'яса, рослинного походження, порожнини людини і тварин, такі як 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-Мейєргофа-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 CO₂ 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 Mn²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Fe²⁺, 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, важливіше 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;
- стійкими до антибіотика, ліофілізації або заморожування;
- відсутні виробництва будь-яких шкідливих для людини речовин, таких як біогенний амін;
- відсутнім вплив на внутрішні сенсорні властивості, 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, пробіотиків. Найважливіше те, що LAB вважаються перспективними біозахисними культурами проти небажаних організмів 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-гідроксibenзойна кислота, 4-гідроксibenзойна 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 протоніваній формі при низькому рН; молочна та оцтова кислоти є найпоширенішими продуктами бродіння для *Lac.* рамнозус. 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 (-COOH) на одному кінці та метильного ланцюга (-CH₃) 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 прямих 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 грибкових 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 діацетилену на людину у ферментованих продуктах протягом століть. Деякі види LAB, включаючи *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacilli*, *Pediococcus* і *Oenococcus*, можуть виробляти діацетил. На виробництво діацетилену LAB можуть впливати різні фактори, такі як pH,

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

У харчових продуктах діацетил є не тільки бажаним ароматизатором, але й важливим антимікробним агентом. Протигрибкові властивості діацетилу проти кількох плісняви, включаючи *Penicillium spp.* і *Fusarium spp.* були визначені з 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 діацетилу, ніж грампозитивні бактерії.

Перекис водню. Виробництво перекису водню (H_2O_2) LAB запобігає росту мікроорганізмів, що псують організм, 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 . Він має слабку спороцидну дію при кімнатній температурі, але дуже потужну при вищих температурах.

Останніми роками зростає попит споживачів на харчові продукти з чистою етикеткою. LAB та їх біоактивні метаболіти вважаються природними хімічними замінниками консервантів для використання в якості біозахисних засобів у ферментованих молочних продуктах для контролю грибкового псування та задоволення вимог споживачів і законодавства. Виробництво протигрибкових метаболітів і конкурентне виключення можуть бути основними механізмами LAB для пригнічення росту грибів. 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 досі. 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, утруднена в складних 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 шкідників 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 причини, 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 тваринництві. Так само були розроблені складні технології переробки молока, які відіграватимуть визначну роль у виробництві молочних продуктів, які 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 покращити виробництво молока на корову, зменшити більші викиди парникових газів і прогодувати 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 відрізняється фотохімічна від фототермічної 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 молочні кислоти сприяють 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. Технологія отримання та первинного оброблення молока : підручник / О. В. Кочубей-Литвиненко, Н. М. Ющенко ; Нац. ун-т харч. технол. – Київ : НУХТ, 2013. – 211 с.
8. 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.
9. 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.
10. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
11. 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.
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. Переконливий синтез даних показує чудовий висновок про те, що більшість функціональних йогуртів містять продукти бджільництва. Останніми роками в молочній промисловості спостерігається зростання поєднання пробіотиків і функціональних продуктів харчування, особливо з розробкою пробіотичних функціональних йогуртів.

Йогурт, широко споживаний молочний продукт, має багату культурну та історичну історію. 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, їх відновлення, втрачених під час обробки, і обслуговування споживачів, які бажають харчові добавки. Йогурт, зокрема, виділяється підвищеною концентрацією кількох мікроелементів, 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 здорове 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 кишечника. Однак згодом з'явилося переформулювання цього поняття, визначаючи пробіотики як «живі мікроорганізми, які при введенні в адекватних кількостях і регулярному споживанні приносять користь здоров'ю господаря».

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 приймають здоровий спосіб життя, орієнтований на спорт і збалансоване харчування. Особливо велике використання продуктів бджільництва у збагачувальних 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 кислих молочних продуктів, заглиблюючись у їх багатогранну еволюцію з різних наукових і промислових точок зору. Тому, визнаючи цю споживчу тенденцію, ця стаття має на меті 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 огляді розглядаються як традиційні аспекти йогурту, так і сучасні інновації. На додаток до своєї традиційної форми, збагачений йогурт виділяється завдяки покращенню поживних властивостей, що 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 тернову камедь. Нещодавні дослідження досліджували замітники на основі гелю, такі як камедь із насіння базилика, які надають жироподібні 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 повножирним 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 раку та діабету. Верблюже молоко містить високі концентрації антибактеріальних білків і білків, що підтримують імунітет, багатий вміст заліза та інсуліну. Однак його нижче співвідношення казеїну та сироваткового білка порівняно з коров'ячим молоком впливає на стійкість коагуляції та ускладнює утворення м'якого гелю під час процесу бродіння, що призводить до слабшого 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. Крім того, використання трансглютамінази може покращити структуру та тирозинфосфорилазу в верблюжому йогурті.

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 осячого 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 харчування та здоров'я свого вибору їжі, що призводить до появи різноманітних заміників м'яса та молока, які відповідають різноманітним харчовим звичкам і релігійним уподобанням, включаючи непереносимість лактози та веганство.

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). Однак часта потреба в штучних підсолоджувачах, загусниках і стабілізаторах для покращення сенсорних властивостей може не відповідати споживчим уподобанням щодо чистих маркованих 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 користі для здоров'я 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 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 користь для здоров'я. Додавання цих інгредієнтів містить основні поживні речовини та біоактивні фітохімічні речовини, які покращують антиоксидантну активність, сприяють покращенню здоров'я кишечника 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 і чистих марок 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 готового або змішаного йогурту ця маніпуляція може включати включення 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.

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 °С, перед введенням закваски. Класична закваска для йогурту являє собою суміш *Streptococcus thermophilus* і *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, із співвідношенням зазвичай 1:1 (рис. 20).

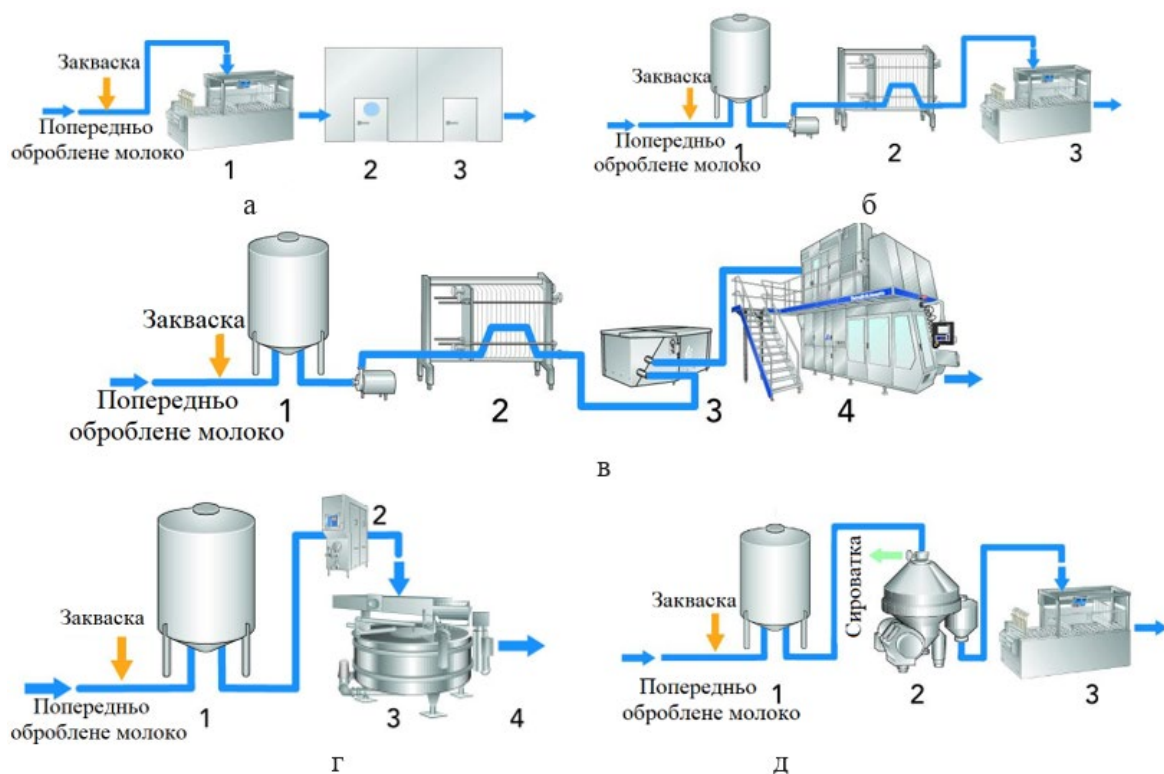


Рис. 20. Варіанти виготовлення різних видів йогурту

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 у тунельну загартівну камеру.

г – заморожений йогурт: 1 танк ферментації; 2 морозильний апарат безперервної дії; 3 морозильний апарат для брикетів морозива; 4 у тунельну загартівну камеру.

д – концентрований йогурт: 1 танк ферментації; 2 сепаратор або мембранний фільтр; 3 наповнювач стаканчиків.

На результати кінцевого продукту можуть впливати умови під час інкубації. Загалом, термофільні молочнокислі бактерії демонструють оптимальний діапазон температур від 40 до 43 °С. Консенсус полягає в тому, що нижчі температури бродіння подовжують час, необхідний для досягнення певного рН. Після досягнення рН 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 менш твердого 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 більш здоровий вибір, виробники виробляють нежирні та знежирені версії своїх найбільш продаваних смаків. 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, какаї та яблуко) і гібіскус, визнані своїми великими запасами біологічно активних сполук з потенційною користю для здоров'я. Ці інгредієнти вже є звичайними 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, морінга, 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'якоті або екстрактів різних фруктів, включаючи, але не обмежуючись ними, виноград і ягоди, папайя та кактусова груша, яблучні вичавки та обліпіха, поєднання апельсина, ананаса, винограду, банана та фініку їстівного (*Phoenix dactylifera* L.) і гранату.

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 використовуваного 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 отримати з них поживні властивості, експерименти були зосереджені на використанні вичавок та їх похідних. Широке використання **яблучних вичавок** у молочній промисловості пояснюється його стабілізуючими властивостями та його роллю як текстури. 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 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 навколо високих сімдесятих, тоді як вміст жиру дещо знижується. Зольність і кислотність підтримують поступове зниження, що свідчить про гармонійний розвиток. Загальна кількість твердих частинок у своїй стійкій консистенції сприяє стабільності серед гами компонентів. Рівні рН вказують на відтінки кислотності, надаючи тонкість і витонченість кінцевого 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 фрукт, багатий біологічно активними сполуками, які сприяють зміцненню здоров'я. Окрім вмісту фенольних сполук, він вважається джерелом β -каротину, який сприяє помаранчевому забарвленню м'якоті. 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 оцінений продукт, 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%). Незначні речовини, мінерали, вітаміни, гормони, ферменти, антиоксиданти та інші неідентифіковані компоненти 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 зі збільшенням концентрації меду. Проблеми, з якими зіткнулися, включали незначне підвищення синерезису та зниження водоутримуючої здатності під час зберігання. Подібним чином використано сосновий мед для приготування функціонального йогурту, що дало порівняльні результати. Однак аналіз поживних речовин отриманого йогурту не

проводився. Дослідження таких інгредієнтів, як морінга, 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 барабанних 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, збагаченим харчуванням і покращеним вмістом біологічно активних сполук.

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, інкапсульованого в характеристики йогурту. Додавання інкапсульованого прополісу з різними інкапсулянтами суттєво вплинуло на суху речовину, білок і золу зразків йогурту.

Бджолиний пилок, продукт, утворений агрегацією частинок пилку робочими медоносними бджолами в гранули, демонструє динамічний хімічний профіль під впливом різноманітних рослинних джерел, які харчуються бджолами. 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 і вітамінів, 1–32% жирних кислот і 5% різноманітних компонентів, таких як значна кількість вітамінів, флавоноїдів і фенольних кислот. 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 благородних 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 маніюці може позитивно вплинути на здоров'я кишечника, служачи пребіотиком, підтримуючи ріст корисних кишкових бактерій. Дослідження показало, що титрована кислотність йогурту

маніоки поступово зростає 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, протипухлинну, імуномодулюючу та різні інші ефекти. Збагачення змішаного йогурту водним екстрактом, отриманим із відходів листя кориці, призвело до значного покращення загального вмісту фенолів, загального вмісту флавоноїдів, активності поглинання 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразилу, антиоксидантної дії, що знижує концентрацію заліза і альбуміну та підвищує активність інгібування денатурації.

Квітка Roselle демонструє різноманітні біологічні властивості, функціонуючи як антиоксидант, регулятор холестерину, модулятор артеріального тиску, протимікробний, протизапальний та протипухлинний засіб, а 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, аскорбіною 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 матиме стабільність кольору протягом усього зберігання без негативного впливу на фізико-хімічні та сенсорні властивості йогурту. Рівень рН становить 4,98. На початку зберігання загальний вміст фенолів становив 42,7 мг/л як у варіанті шпинату, 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 такими 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 відрізнятися в різних ринкових класах і сортах квасолі через їх відмінні фенотипи і генотипи. 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 відсотках 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 надавати сприятливий вплив на здоров'я людини на додаток до основних поживних ефектів. *Гриб устричний* (*Pleurotus ostreatus*) 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 імуномодулятори, зниження рівня холестерину в плазмі та запобігання гіпертонії, діабету, ожиріння.

Додавання екстракту призвело до підвищення в'язкості та загального рівня кислоти, що посилювалося з підвищенням концентрації екстракту. І навпаки, додавання екстракту призвело до зменшення синерезису. Більше того, вміст білка та відновлюючого цукру в йогурті збільшився, а більш висока концентрація екстракту ще більше підвищила ці рівні.

Agaricus blazei – гриб, багатий на біологічно активні сполуки. При додаванні до йогуртів він значно підсилює їх антиоксидантні властивості. Крім того, це суттєво не змінило 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 загальному самопочуттю, сприяючи збалансованому лужному стану. 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. Морінга, багата білком, антиоксидантами, вітамінами та мінералами, покращує поживний профіль йогурту. Його біологічно активні сполуки можуть сприяти протизапальним і антимікробним властивостям, потенційно сприяючи здоров'ю травлення. Протягом періоду зберігання спостерігалось помітне збільшення синерезису, в'язкості, твердості та консистенції продукту. Загальний вміст фенолів становив 280,65 мг/100 г в екстракті та 18,31 мг/100 г в йогурті. Активність поглинання 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 продукти мають спільні активні біологічні 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 видів фруктів і навіть чайного гриба. Ці результати довели свою додаткову цінність з функціональної точки зору, 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 дещо нижчими. Включення соку *алоє віра* помітно посилює синерезис і одночасно зменшило кількість бактерій.

Artemisia absinthium L., широко відома як *полін*, 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 (кумаринова, сирінгінова, саліцилова, хлорогенова та ванілінова кислоти), які сприяють механізмам поглинання вільних радикалів. Крім того, збагачення йогурту порошком полину покращило його антиоксидантну активність та реологічні властивості протягом усього терміну зберігання. Крім того, термін придатності збагаченого йогурту був 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% покращило фізико-хімічні та сенсорні властивості йогурту. Крім того, це збільшило вміст заліза та клітковини та підвищило 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.

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 альгінату 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 спостережуваний 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 благополуччю.

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 листа. 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 пряним або листовим смаком, що підлягає якості та мікробіологічному тестуванню. 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 потенційного впливу 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 як агентів захисту серцево-судинної системи. запобігання ревматичного артриту, а також як антиоксиданти. Усього цього можна досягти, додавши мікрокапсульований порошок ω -3 жирної кислоти з риб'ячого жиру. При цьому не спостерігалось істотних відмінностей у рН, кислотності або синерезисі між контролем і обробкою під час зберігання. Йогурт з наноліпосомами риб'ячого жиру мав 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. Він 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 і біфідобактерії, можливо ідентифікувати потенційні пробіотичні штами. Вміст молочної кислоти в продукті досяг найвищого середнього рівня 0,68 г/100 г. Цей продукт демонстрував характерні значення рН, характерні для кисломолочних напоїв, і продемонстрував 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. Пробіотики, 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 модулюванню 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 виробництво біологічно активних сполук ще більше сприяють привабливості цих продуктів. Крім того, включення пребіотиків і пробіотиків дозволяє виробникам йогурту урізноманітнити свої пропозиції, виходячи на зростаючий ринок функціональних продуктів харчування. Через зростання проблем зі здоров'ям, ожирінням і проблемами з харчуванням люди схильні шукати вигідні рішення для покращення свого раціону шляхом впровадження інноваційних варіантів і нових комбінацій, які приносять додатковий елемент здоров'я. Використання чайного гриба, мікроводоростей, 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

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 верблюжого 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. За якими основними властивостями відрізняються йогурт із затвердінням, змішаний йогурт і питний йогурт?
12. Які відомі функціональні інгредієнти застосовують у виробництві йогуртів?
13. Як технологічно відбувається інтеграція фруктів і йогурту?
14. Як споживачі оцінюють йогурт зі смаком полуниці?
15. Яку роль відіграють бджолиний мед та його супутні продукти як прополіс, маточне молочко та інші у створенні функціонального йогуртового продукту?
16. 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. 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.
5. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф. В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. – 340 с.
6. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
7. 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.
8. 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.
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, яке люблять люди в усьому світі, має багату історію інновацій та еволюції. Від скромних початків, коли його збивали вручну віддані ремісники, до сучасних високотехнологічних процесів виробництва, морозиво зазнало надзвичайних змін. 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 залишаються холодними, забезпечуючи більш плавне заморожування та покращену якість. Це також проклало шлях для створення морозива у більших масштабах, зробивши його більш доступним для мас.

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 створювала кремоподібніший продукт. Цей процес став невід'ємною частиною сучасного виробництва морозива, забезпечуючи оксамитове відчуття у роті кожної кульки.

Оскільки промисловість морозива продовжувала розвиватися, виробники почали включати емульгатори та стабілізатори у свої рецепти. 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, покращили 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 надзвичайно низьким температурам за 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 заморозка морозива [24]

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

Gram Equipment, Данія, є провідним світовим постачальником передового обладнання та 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 та стерилізації повітря забезпечує високий рівень ефективності. Серія включає різні моделі, оснащені або вбудованими герметичними спіральними, або шестициліндровими поршневыми компресорами, що забезпечує 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 СІР.

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 консервантів. Ця технологія дозволяє виготовляти більш безпечне та натуральне морозиво з підвищеною свіжістю.

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 вдосконаленнях. 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.

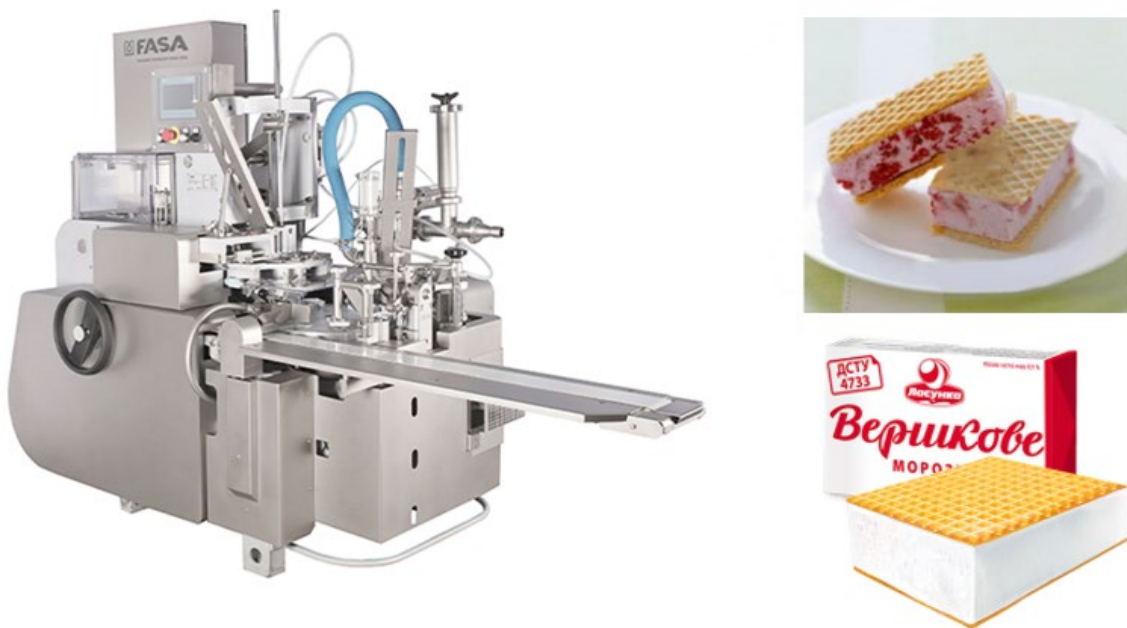


Рис. 23. Машина для наповнення та обгортання морозива ARG [25]

ARG - Ice cream filling and wrapping machine. <https://www.fasa.lt/en/packaging/packaging-equipment/filling-and-wrapping/ice-cream-filling-and-wrapping-machine-arg/>

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, можливе очікування нових інновацій у виробництві морозива. Від більш екологічних методів виробництва до інтеграції штучного інтелекту для розробки смаку, майбутнє обіцяє ще більше захоплюючих подій у світі морозива.

У процесі вдосконалення дієтичних та функціональних властивостей морозива, можуть застосовуватися різні фітохімічні речовини, так як вітаміни, мінерали, біоактивні пептиди, харчові волокна, пробіотики, пребіотики, сироватка та її продукти, різні жирні кислоти та рослинні олії та прянощі. Крім того, різноманітні такі компоненти, як фрукти, дикі фрукти, овочі, лікарські ароматичні рослини, продукти бджільництва (такі як мед, пилок і прополіс) і різні цукрозамінники (рослинні підсолоджувачі, такі як цукровий спирт і стевія) також можуть потенційно використовуватися з основними компонентами. 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 розроблених розділів промисловості функціонального харчування. ***Пробіотики*** визначаються як живі мікроорганізми, що сприятливо впливають на господаря 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. Бактерії молочної кислоти складають найважливішу групу пробіотиків і мікроорганізми та біфідобактерії та лактобактерії є загальнозживаними бактеріями. Крім того, було помічено, що різні види *Saccharomyces* також використовували як пробіотики. Користь для здоров'я пояснюється прийомом всередину продуктів, що містять пробіотики, 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 господаря, покращуючи його здоров'я. Більшість пребіотиків складається з олігосахаридів і полісахаридів і відомо, що деякі цукрові спирти, модифіковані вуглеводи та цукрові поліоли демонструють пребіотичні властивості. Споживання пребіотиків корисно для зниження ризиків деяких хвороботворних утворень, наприклад профілактика діареї внаслідок кишкової інфекції, профілактика остеопорозу в результаті підвищеного споживання кальцію, зниження ризику ожиріння та діабету 2 типу, зниження ризику раку 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 продемонструвати бажані фізіологічні ефекти.

Синбіотики – це певні харчові речовини, які містять обидва пробіотику та пребіотику. Відомі синбіотики бути ефективним у збереженні життєздатності пробіотика під час проходження через шлунок і тонкої кишки і таким чином сприяти вибірково розвитку і розмноження пробіотиків у великому кишечнику.

Розроблено багато функціональних рецептур морозива використовуючи пробіотики та пребіотики окремо або в складі з основою, такі продукти були проаналізовані з точки зору різних якісних характеристик. Було виготовив зразки пробіотичного морозива з використанням *L.acidophilus* і *B. bifidum* для підвищення функціональності та створення терапевтичного ефекту і визначено, що кількість пробіотиків був на бажаному рівні ($>10^6$ КУО/г) протягом зберігання для досягнення терапевтичного ефекту. В іншому дослідження, симбіотичні зразки морозива з *L. Acidophilus* і *S. boulardii* були отримані та проаналізовані з точки зору деяких параметрів якості. З'ясувалося в результаті дослідження, що кількість *S. boulardii* в зразках з *S. boulardii* була між 6,37 і 7,26 log КУО/г при кількості *L. acidophilus* в морозиві з *L. Acidophilus*, яка коливалася в межах 7,05 і 8,95 log КУО/г. Крім того, було встановлено, що суттєвий вплив фруктоолігосахариду, який використовувався як пребіотик на життєздатність техпробіотичних мікроорганізмів. Було приготовлено низькокалорійний

пробіотик, пребіотик і симбіотик функціонального морозива з додаванням 5% інуліну та лактулози в цукрі і жир як заміник. В результаті дослідження вони 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, у пробіотичному морозиві, зразки якого приготовлені з використанням яблука, апельсина, вівса, пшениці і бамбукових волокон. Це з'ясувалося і в іншому дослідженні у якому біла та темно-синя чорниці мали потенціал пребіотику *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 і відбувається сильне окислення в біологічних молекулах в результаті великої кількості цих сполуки; викликаючи різні захворювання, такі як пошкодження тканин, смерть клітин, раннє старіння, рак, анемія, серцево-судинні захворювання та неврологічні розлади. 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, дикорослі плоди, овочі, прянощі та лікарські ароматні трави, якими можна замінити сполуки, що виявляють антиоксидантні та фенольні характеристики, зазвичай використовуються для збільшення антиоксидантної активності морозива. Дослідження, які проводили для визначення ефекту виноградного винного концентрату за реологічними та антиоксидантними властивостями морозива, показали, що з додаванням виноградного вина зростала антиоксидантна

активність при підвищенні концентрацій і антиоксидантні сполуки залишалися стабільними протягом виробництва.

4.3. Зелені, золотисті та червоні ківі у великій кількості

Вивчалися антиоксидантні властивості і поживна цінність молока без цукру та знежиреного молока морозиво, збагаченого вибраними овочами. Використовували **вітамін С** і його антиоксидантні властивості у виробництві морозива. Найвищий загальний вміст фенолу (у перерахунку на галову кислоту) і антиоксидантна здатність виявлені у разі вмісту вітаміну С у зразках морозива з червоним ківі, тоді як найнижчі антиоксидантні значення були визначено у зразку 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. Було також використано олійне борошно та скоринку з метою вироблення функціонального морозива на різних рівнях (1%, 2%, і 3%). Показано, що олійне борошно і скоринка впливають на якісні властивості морозива і можуть бути використовується як природне джерело антиоксидантів для додатків у їжу. 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 з збільшення концентрації продукту імбиру. В іншому дослідженні було встановлено, що споживання збагаченого лікопіном морозива мало сприятливу антиоксидантну дію, в першу чергу на шкіру людського обличчя. Цікавими є повідомлення, що додавання гарбузового пюре у якості суміші для виготовлення морозива забезпечували підвищений загальний вміст фенолів, і антиоксидантну активність за умов наявності вмісту харчових волокон (розчинних та нерозчинних).

Екструдер для морозива використовується для виготовлення екструзійного морозива та морозива з начинкою, а також для прикраси та

затвердіння продуктів морозива. З допоміжним обладнанням 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.

У якості першої робочої процедури виробнича лінія екструдує сировину для морозива на лотки для продукту (наприклад, продукт із заглушками, нарізаний продукт або маленький торт) або заповнює сировину для морозива в попередньо розподілені ріжки. 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 заморожено, механічна машина зніме продукти з лотків, замочить їх у шоколаді та запакує продукти.

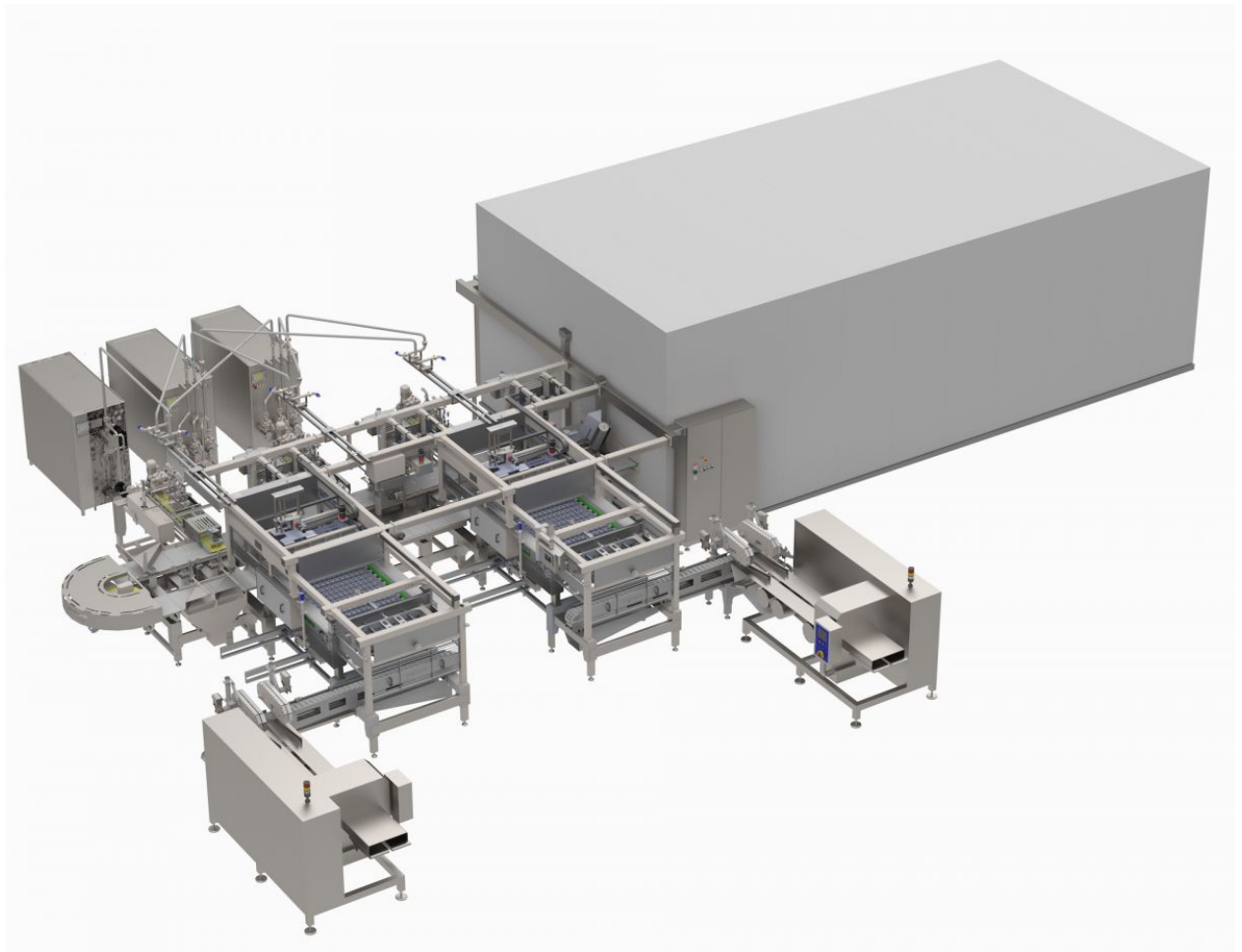


Рис. 24. Екструдер для морозива [26]

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 панелі 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 із стержнем. 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 екструзувати морозиво з великими вкрапленнями, формуючи його в одному агрегаті. 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.

Переваги:

- допускає великі включення в морозиво;

- зберігає цілісність включення;
- підтримує високу виробничу потужність;
- запатентована технологія нульової адгезії;
- сумісний з існуючими екструзійними лініями.

4.4. Біоактивні білки, пептиди та амінокислоти

Відомо, що білки, пептиди і амінокислоти є продуктами, які забезпечують енергетичні та основні функції в харчуванні, а також мають різні біологічні антигіпертензивні, протимікробні і антиоксидантні властивості. Наприклад, білки молока, такі як лактоферин, лактопероксидаза і імуноглобулін, як відомо, мають антибактеріальну дію, противірусні, 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 харчових продуктів і покращують їх структурні властивості і дають функціональність харчових продуктів.

Було використано порошок рибного протеїну в різних варіантах рівнів (10%, 20% і 30%) для збагачення морозива білком. Дослідники дійшли висновку, що ця практика була ефективною в поживному та функціональному виробництві морозива. В іншому дослідженні було зафіксовано ефект від використання ізоляту і гідролізату соєвого білка на фізико-хімічні властивості морозива, що швидко тане.

4.5. Сироватка та її продукти

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, концентрація сироваткового білка, ізоляти сироваткового білка, сироватка з низьким вмістом лактози, демінералізована сироватка і гідролізована

сироватка можуть бути комерційно отримані. Сироваткові білки, які мають найвищу харчову якість і цінність серед усіх харчових білків, є оптимальним джерелом для виробництва функціональних компонентів їжі.

Сироватка та її продукти 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 стверджують, що за умови додавання сироватки концентрація білка в молоці і суміші вершків у різних співвідношеннях збільшено вміст білка, а також покращені текстурні властивості морозива. У виготовлених зразках морозива з додаванням глікованого ізоляту сироваткового протеїну, відмічено, що цей білковий ізолят мав 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 і 97,97%, а у морозиві з лактозою вміст її зменшився на 91%, що дозволило споживати так функціональне морозиво особам з непереносимістю лактози.

4.6. Біоактивні ліпіди

Крім того, що жири сприяють відчуттю смаку їжі, вони також надають значну частину енергії, отриманої з раціону, і є носіями жиророзчинних вітамінів і виступають важливим джерелом для ефірних масел. 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 з високим вмістом фізіологічного значення; його здатність до травлення висока і містить різноманітні вітаміни (A, D, E, K). В

складу молочного жиру розрізняють коротко- або середньоланцюгові жирні кислоти з високими функціональними властивостями, такі як фосфоліпіди, поліненасичені жирні кислоти, холестерин, гангліюцити та гліколіпіди. З поліненасичених жирних кислот, які дуже важливі з точки зору харчування фізіологія, лінолева, ліноленова та арахідонові жирні кислоти є незамінними жирними кислотами, які не можуть бути синтезовані організмом людини. Тому ці основні жирні кислоти слід приймати з їжею. Крім цих жирних кислот поліненасичені жирні кислоти, такі як ейкозапентаєнова кислота, докозагексаєнова кислота і кон'югована лінолева кислота мають вирішальне значення для людей. Відомо, що омега-3 жирні кислоти містяться у великій кількості 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 морські види і насіння олійних культур зазвичай використовували для збагачення морозива з різними жирними кислотами, в першу чергу омега-3 і омега-6. Було використано молоко, отримане від корів, які харчується пальмовою і кокосовою олією 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; і це також спостерігалось у зразках морозива. Було також повідомлено, що фракції молочного жиру з низькою температурою плавлення можна використовувати у функціональній рецептурі морозива. Додавання олії чіа при різних концентраціях (5%, 10%, 15% і 20%) істотно вплинули на концентрацію омега-3 жирних кислот у зразках морозива та підвищений вміст фенолів, флавоноїдів і вільних радикалів. В іншому дослідженні у виробництві використовувалася

мікрокапсульована олія товстоlobика у морозиві зі смаком ванілі та какао. Було використано три різні співвідношення (5%, 10%, і 15%) пюре устриці (*Crassostrea iredalei*) з ідеєю підвищення харчової цінності морозива. В результаті дослідження, найвищий загальний бал прийнятності в термінах сенсорної оцінки в зразках виявлено з 10% устричним пюре.

4.7. Підсолоджувачі

Останнім часом зріс інтерес до низькокалорійної їжі за рахунок збільшення кількості продуктів з альтернативними популярними підсолоджувачами. У деяких дослідженнях повідомлялося, що можливість виникнення захворювань обміну речовин, таких як цукровий діабет, серцево-судинні захворювання, збільшення ожиріння, в залежності від 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, інверт цукор, кукурудзяний сироп з високим вмістом фруктози або мальтози, коричневий цукор, мед, цукрові спирти (наприклад сорбіт, мальтит, маніт, лактит і ксиліт) і високоінтенсивні підсолоджувачі (аспартам, ацесульфам К, сахарин і стевія). Досліджено використання стевії у виробництві морозива як природного підсолоджувача і визначили, що стевія покращила певну якість таких властивостей, як в'язкість, швидкість вибігу та швидкість плавлення морозива і його можна використовувати в морозиві виробництво для 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 задля його солодкого листя.

Також виробляли кокосову олію з низьким вмістом глікемії з додаванням у морозиво а потім з використанням низькоглікемічних підсолоджувачів (ксиліт, еритритол, інулін і фруктоза) як альтернатива сахарози. Визначено, що у створеній суміші можна використовувати еритритол, 7% інуліну та 2,15% фруктози як джерело цукру в морозиві з кокосовою олією з низьким вмістом глікемії виробництва і як альтернатива 12% сахарози. Досліджено різні якості зразків морозива, виготовлених шляхом використання меду, трегалози та еритритолу як альтернативи цукру і вказано, що ці підсолоджувачі можна використовувати саме як замітники цукру. Більш того, про це повідомили в дослідженнях, за якими рекомендовано використовувати трегалозу та еритритол інші підсолоджувачі в морозиві для регулювання жорсткості та поведінки танення. В інших дослідженнях низькокалорійне морозиво було виготовлено з використанням сухого порошку шовковиці як замітника сахарози і горіхову пасту як замітник для молочного жиру. Було визначено, що додавання цих речовин 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 радіють за 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 протитравними ферментами, які не можуть перетравлюватися в кишечнику, але повністю або частково ферментується в товстому кишечнику. Харчові волокна можна класифікувати різними способами включаючи біологічне походження, молекулярні структури, фізико-хімічні властивості та фізіологічні ефекти. Зазвичай їх поділяють на два класи як водорозчинні (різні неперетравлювані олігосахариди, такі як пектин, слиз, слабозв'язані геміцелюлози, бета-глюкани і інулін) і нерозчинні у воді (целюлоза, лігнін і щільно зв'язані целюлози). 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 потовщення. Крім того, ці компоненти становлять основну складову енергетично-дієтичних продуктів, яких дедалі більше споживаються останнім часом, а також вони широко використовуються в функціональних продуктах харчування через їх численні позитивні ефекти на здоров'я людини. Деякі епідеміологічні дослідження показали, що між ними існує прямий зв'язок споживання продуктів з високим вмістом клітковини та ризик зменшення 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. Рекомендовано 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 збільшило значення в'язкості сумішей для морозива, а використання 2% клітковини діє на температуру плавлення суміші. З іншого боку використання апельсинової клітковини як заміну олії в лимонному морозиві може привести до зменшення кількості масла та збільшення вмісту різноманітних біоактивних компонентів, таких як клітковина та каротиноїди.

В подальшому використовували сироватковий білок, модифікований крохмаль, вівсяна та пшеничну клітковину у кількості 1% та 2% як заміник 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 у разі додавання клітковини персика, яку можна використовувати як оптимальне природне джерело для виробництва морозива з підвищеною харчовою цінністю особливо у разі використання 1% волокна м'якоті персика, яке найбільше сподобалося споживачам.

4.9. Вітаміни та мінерали

Вітаміни та мінерали, які згруповані в мікроелементи, є одними з основних компонентів їжі для людського організму в невеликих кількостях. Відомо, що більшість вітамінів не можуть синтезуватися в організмі, тому вони повинні приймати з їжею. В основному досліджуються вітаміни, поділені на дві групи, а саме жиророзчинні (А, D, Е і К) і водорозчинні (групи В і С). Корисні компоненти, які поширені в природі, є важливими елементами живлення, які відіграють ключову роль у зростанні та розвитку організму та захисту його здоров'я. Вони також поділені на макро (Са, Mg, К, Na, Cl, Р і S) і мікро (I, Zn, Se, Fe, Mn, Cu, Co, Mo, F, Cr і В). Молочні продукти, що входять до щоденного раціону, багаті Са і Р; крім того, вони є важливими джерелами для багатьох поживних елементів, в першу чергу Mg, вітаміни А, В1, В2, В3, В12, D, Е і К. Рекомендується продукти з вміщеними корисними елементами повинні споживатися всіма віковими групами, особливо дітьми. У літературі було зазначено, що зазвичай використовувалися рослинні джерела, зокрема фрукти, які здатні збагатити морозиво вітамінами і мінералами. Було визначено, що кількість вітаміну С, Mg і К може бути збільшена у зразках морозива з додаванням кумквату (*Fortunella margarita*). Визначено в симбіотичному морозиві зразки, якого було виготовлено з використанням аскорбінової кислоти та глюкози оксидази, що додавання аскорбінової кислоти позитивно вплинули на ріст *L. acidophilus* і *Біфідобактерії*. Додавання порошку зеленого чаю в різних концентраціях (1% і 2%) приводило до зростання кількості Са, Cu, Mg, К, Zn і Na та інших окремих мінеральних речовин, а використання бактерій молочної кислоти, збагаченої іонами Mg як носія для пробіотичного виробництва

морозива. Для цього використали *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus rhamnosus* і штами *Lactococcus lactis*; підготовлені культури збагачували іонами Mg застосовуючи імпульсне електричне поле. Після такої обробки пробіотики та штами безпосередньо використовувалися у виробництві функціонального морозива і саме штами були потенційно хорошими носіями Mg.

4.10. Лідерство морозива: з кожним роком усе більше й більше

Інноваційні технології виробництва морозива дозволили сучасним виробникам виготовляти його найрізноманітніші види в промислових масштабах. Популярність улюбленого продукту всіх людей у цілому світі зростає щорічно. Крім різноманітних 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 стосовно майбутнього морозива

Хоча попит на морозиво продовжує зростати, справжні інновації відбуваються повільно. Щоб допомогти цій галузі зрушити з місця, потрібно революційне та концептуальне мислення в ідеї інгредієнтів для морозива та продуктів, які могли б сприяти зростанню його виробництва в майбутньому. Це мислення було викристалізовано в 6 інноваційних платформах, на яких можна будувати 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 страв. Це

означає, що є можливість продовжувати випускати приголомшливі творіння та створювати ще більш інтенсивні смаки, наприклад, смаки умами, 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 насолоджуватися перед сном, але може бути місце для морозива, яке задовольнить перед сном або ввечері. Завдання полягає в тому, щоб знайти кращі способи зняти стрес і розслабитися без почуття провини. Оскільки снодійний гормон 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. Приховуючи функціональні продукти в морозиві, споживачі могли б покращити здоров'я свого кишечника, імунітет, споживання клітковини та загальне харчування, а також задовольнити свою потребу у чудовому смаку та насолоді. Ця категорія може легко розростатися, щоб включити 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 місце для інновацій у морозиві, які доставляють невеликі порції морозива додому. Це можна зробити за допомогою кухонних приладів, які ще не створені, а також за допомогою харчових технологій, які доставляють порошки морозива або концентрати, призначені для повторного змішування та відновлення вдома.

5. **Альтернативне майбутнє:** як показують дослідження продуктів рослинного походження, все більше споживачів відмовляються від справжніх

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 рослинного походження, виникає потреба в розробці заморожених продуктів.

6. **Безлімітне морозиво:** поруч із персоналізованим харчуванням є персоналізована поблажливість. Споживачі хочуть продукти, які здаються індивідуальними – «для мене, на даний момент», – які задовольняють їхні бажання невибачливими способами. Це означає надання необмежених можливостей у самому продукті за багатьма з наведених вище рішень, а також можливість вибору способу подачі, упаковки, купівлі морозива тощо. Саме тут ви робите морозиво справді посиленням – якщо морозиво – це щастя, це щастя має бути безмежним.

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

Нанотехнології з'явилися як багатообіцяючий підхід до покращення текстури, реології та антимікробних аспектів молочних десертів і морозива. У цьому розділі представлено огляд того, як нанотехнології застосовуються при розробці молочних продуктів, зосереджуючись на їх впливі на текстурі, характеристиках потоку та антимікробних властивостях. 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 поведінку текучості та легкої 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 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 чудові 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 солодоші, 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 гострий смак йогурту з кремовою текстурою морозива. Обробка замороженого йогурту передбачає змішування розмішаного 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, спрямовані на покращення смаку, текстури та терміну зберігання молочних десертів і морозива. Підвищення обізнаності щодо важливості функціональної та здорової дієти 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 раку протягом життя сполук ПХБ у морозиві та вершках був 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), інουλін, вівсяна клітковина та пшенична клітковина, були оцінені на наявність і їхній потенціал замінити цукор щодо сенсорних і фізичних властивостей. Згідно з результатами, МСС при 7,5% показав найвищі сенсорні оцінки завдяки оптимальному вмісту вологи та активності води, що призвело до мінімальної твердості. Проте волокна вівса та пшениці підвищують твердість продукту та знижують вміст вологи та 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 науці 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 вражень і тривалої свіжості. Використовуючи наноматеріали, такі як нанофібрильована целюлоза та наноліпосоми, молочні продукти можна збагачувати біологічно активними сполуками, вітамінами та мінералами, покращуючи їхню харчову цінність та користь 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 у молочних продуктах може покращити термін їх зберігання, відстежуваність і безпеку 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 функціональніших 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 наноемульсій зростає через їх специфічне використання та 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 споживачів 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 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 гладкість. 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 псуванням.

4.12.4. *Комплексоутворення включення*

Комплексоутворення включення відноситься до утворення комплексу між молекулою-хазяїном (зазвичай більшою молекулою) і молекулою-гостя (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 замкнених 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, щоб 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 гладкої 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 їх 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 відчуття в роті, що призводить до більш гладкої текстури та більшої вершковості. Наявність інкапсульованих біологічно активних сполук також може підвищити сенсорний досвід і сприйняття якості десертів і морозива. Використовуючи інкапсульовані біологічно активні сполуки з антимікробною дією, молочні десерти та морозиво можуть покращити захист від псуєчих мікроорганізмів. 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, 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 сфінгомієлін), і стеролів. Ці структури можуть мати або один ліпідний подвійний шар (одношарові), або кілька ліпідних подвійних шарів (мультиламелярні), що містить 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 відчуття у роті. 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 морожива, їх роль?
4. Які компоненти, додані до морозива, відіграють роль антиоксидантних речовин?
5. У чому полягає дія таких компонентів як біоактивних білків, пептидів та амінокислот, 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 підсоложувачі 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 нанокапсуляція 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. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

9. 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.
10. 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.
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 і дріжджів, і їх взаємодія з молочним і немолочним молоком виробляє ферментовані вершкові 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, який також називають кустарним 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 продажу кефір виробляють або «російським методом», або 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. Нещодавні дослідження показали, що *backslopping*, техніка, яка використовується у виробництві ферментованих продуктів, таких як закваска, ідлі, сир тощо, збільшила вихід напою в 50 разів, зберігаючи характеристики 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 специфічного смаку.

Відмінною рисою кефіру від інших ферментованих продуктів є використання кефірних зерен. Зерна кефіру дрібні (0,3–3,5 см), 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 підстильною природною 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). Під час бродіння біомаса мікробів збільшується, що призводить до нового покоління зерен, вивільняючи більше життєздатних клітин у субстрат, який можна видалити шляхом просіювання та використати для наступного раунду бродіння.

5.2. Види кефіру

Молочні кефірні зерна та водяні кефірні зерна є двома типами кефірних зерен. Продукти бродіння цих двох зерен 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 зерном, доступним у всьому світі, і вважається, що походить від кланів Північного Кавказу. Ці 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, модулі, сенсорних властивостях і кольорі кефіру з коров'ячого молока та кефіру з буйволячого 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 та 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 без змін в інших хімічних профілях крові у мишей порівняно з контрольною групою.

Гіпоглікемія – стан, який виникає при зниженні рівня глюкози в крові нижче 3,2 ммоль/л. Є симптомом певних хвороб, зокрема, пухлин 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 впливає на здоров'я мікробіома кишечника шляхом зменшення бактерій, пов'язаних із захворюваннями, таких як *Enterobacteriaceae*, і збільшення біомаси *Lactobacillus* і *Lactococcus* у мишей, збільшення кількості молочнокислих бактерій у собак і збільшення *Actinobacteria*, що призводить до покращення параметрів у пацієнтів із порушенням обміну речовин. синдром.

5.2.2. Водний кефір

На відміну від молочного кефіру, водний кефір є продуктом бродіння розчину на водній основі, що складається з фруктів і овочів і джерела цукру з зернами водного кефіру. Зерна водного кефіру описуються як сіро-білі, напівпрозорі, воскоподібні гранули з жорстким виглядом і дуже рідкісними видимими субодиничними гранулами. Діапазон крупинок водного кефіру зазвичай становить від кількох міліметрів до сантиметрів. Зерна містять декстрановий субстрат із αD-(1–6)-зв'язаним глюкопіранозильним полімером із (1–3)-зв'язаними бічними ланцюгами, утвореними консорціумом *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. Додавання фруктів, субпродуктів і фруктових соків до бродіння водного кефіру сприяло розробці біозбагачених пробіотиків. Немолочний напій, придатний для споживачів з непереносимістю лактози, а також споживачів з алергією та веганів, виготовляється з водного кефіру та водорозчинного екстракту кокосового горіха та збагаченого інуліном. Окрім того, що це немолочний напій, водний кефір має додаткові переваги для здоров'я, такі як кращі показники холестерину в крові.

Крім того, водний кефір виявляв антиоксидантні властивості, гастропротекторну дію, покращував окислення білків і активність каталази у мишей, а також антидіабетичні, антигіперліпідемічні та покращував масу тіла, рівень глюкози та ліпідний профіль у щурів.

5.3. Користь кефіру для здоров'я

Кефір, суміш багатьох мікроорганізмів, що бродять, має довгу історію зміцнення здоров'я людини. Мікроби виробляють вітаміни та розщеплюють вуглеводи, такі як лактоза та білки, утворюючи корисні для здоров'я білки, ліпіди, необхідні мікроелементи та вітаміни, включаючи вітамін B1, B12, K, фолієву кислоту та кальцій. Припускають, що кефір є однією з причин довголіття жителів Північного Кавказу, завдяки його численним перевагам для здоров'я, включаючи антистресові та протизапальні властивості, антихолестеринові, антибактеріальні та протиракові властивості, а також його користь для шлунково-кишкового тракту через антиоксидантну дію та модуляцію мікробіоти кишечника. Нещодавні дослідження багатьох переваг для здоров'я, які були вивчені через застосування кефіру або його молекулярних компонентів, з'ясували величезний потенціал кефіру як суперпродукту. Було показано, що споживання молочного кефіру має гастропротекторний ефект перед нестероїдними протизапальними препаратами завдяки антиоксидантним властивостям у самців швейцарських мишей. Крім того, він підвищує супероксиддисмутазу, каталазу та коротколанцюгові жирні кислоти, тим самим зменшуючи гліцериди та сечову кислоту. Одночасне вживання молочного кефіру підвищує активність остеобластів і знижує активність остеокластів у черепно-нижньощелепних кістках, викликану дієтою з кукурудзяним сиропом з високим вмістом фруктози. Було показано, що водний кефір зменшує запалення та пом'якшує дисбактеріоз у мишачої моделі запалення кишечника та зменшує кількість побічних продуктів перетравлення азоту та білка, а також збільшує комменсальні біфідобактерії.

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 молока та води, кефіру, мають антиоксидантну активність, відсутність вірулентності або генів антимікробної резистентності, добре виживають у кислому та жовчному середовищах, а також гени синтезу вітамінів та γ -аміномасляної кислоти.

Протягом останніх кількох десятиліть пробіотична їжа та напої набули популярності, частково завдяки підвищенню обізнаності споживачів про важливість підтримки здорового кишечника для загального благополуччя 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, верблюжого або соєвого молока. Наявність кефірного зерна під час бродіння є важливою відмінною рисою кефіру від інших кисломолочних продуктів. Замість того, щоб використовувати кефірне зерно, комерційне, промислове виробництво кефірних продуктів, як правило, використовує закваски, виділені з кефіру або кефірних зерен, для отримання однорідних продуктів. 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 виготовлені з молока, багато компаній пропонують немолочні кефірні продукти, привабливі для ширшої споживчої бази.

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*. Крім метаболітів молочної та оцтової кислот; етанол, CO₂, октанова кислота, кефіран, етилдеканоат, етилгексаноат, екзополісахариди, піруват, пропіонат, сукцинат, фумарат і нонанал можуть вироблятися іншими бактеріями, присутніми в кефірних зернах і 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 оброблених кефірних продуктів. Крім того, у багатьох комерційно вироблених кефірних напоях

відсутні бактерії оцтової кислоти, які зазвичай надають корисні ефекти. Ще одна важлива відмінність між комерційно виробленим кефіром і кефіром, виробленим традиційним способом, полягає у відсутності грибового співтовариства в комерційних кефірних 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, що робить його неекономічним. Для отримання частинок порошку потрібна додаткова стадія обробки. Більш швидким і економічно ефективним методом сушіння є сушіння розпиленням. У процесі сушіння розпиленням рідина розпилюється в спрей крихтих крапель, який потім стикається з нагрітим газом у сушильній камері, де застосовуються три моделі потоку розпилення на основі напрямку входу повітря та 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, упаковується.



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 кефірної цукерки з максимальною життєздатністю LAB і дріжджів. Інші дослідження були зосереджені на розробці кефірних продуктів, виготовлених із соку аронії, соку бузини та чистого 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, як збагачувати веганські кефірні продукти. При використанні рослинних замінників молока основним обмеженням є відсутність у коров'ячому молоці поживних компонентів. Дослідники та розробники продуктів харчової промисловості використовували мікроводорості як функціональний компонент у деяких продуктах харчування та напоях для підвищення харчової цінності. Примітно, що мікроводорості *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 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 можливими функціональними продуктами харчування. Комерційно кефірні продукти дуже різноманітні, включаючи традиційні кисломолочні напої, безмолочні варіанти та інноваційні рецептури, такі як кефірний сир і порошкоподібні закваски. Деякі з проблем, пов'язаних з комерційним 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 альтернативи. Крім того, додавання пробіотиків, вітамінів і мінералів до кефірних продуктів може покращити їхні функціональні властивості, тим самим забезпечуючи здоров'я кишечника та різноманітність раціону споживачів. Постійні дослідження та інновації ще більше розкриють потенціал кефіру як функціональної їжі з різноманітними перевагами для здоров'я та кулінарною універсальністю.

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, які розвинулися під час бродіння, згущували вершки та робили їх більш кислими, що є природним способом їх збереження.

Відповідно до правил США (FDA), промислово вироблена сметана містить не менше 18% молочного жиру до додавання наповнювачів і не менше 14,4% молочного жиру в готовому продукті. Крім того, вона повинна мати загальну кислотність не менше 0,5%. Вона також може містити сухі речовини молока та сироватки, пахту, крохмаль у кількості, що не перевищує один відсоток, сіль та сичужний фермент, отриманий із водних екстрактів четвертого шлунка телят, козенят або ягнят, у кількості, що відповідає належній виробничій практиці. Крім того, згідно з канадськими харчовими правилами, емульгаторами, гелеутворювачами, стабілізаторами та загусниками в сметані є альгін, камедь ріжкового дерева, карагенан, желатин, гуарова камедь, пектин або альгінат пропіленгліколю або будь-яка їх комбінація в кількості, що не перевищує 0,5%, моногліцериди, моно- та дигліцериди або будь-яка їх комбінація, в кількості, що не перевищує 0,3%, і двоосновний фосфат натрію в кількості, що не перевищує 0,05%.

Сметана не ферментується повністю і як і багато молочних продуктів, її потрібно охолоджувати як до, так і після відкриття закритої ємності. Крім того, згідно з канадськими нормативними актами фермент, що згортає молоко, отриманий з *Rhizomucor miehei* та *Mucor pusillus* Lindt за допомогою процесу бродіння на чистій культурі або з *Aspergillus oryzae*, також можна додавати до процесу виробництва сметани в кількості, що відповідає належній виробничій практиці. Сметана продається з датою закінчення терміну придатності, вибитою на контейнері, хоча така дата «продати до», «найкраще до» або «використати до» залежить від місцевого законодавства. Охолоджена невідкрита сметана може зберігатися протягом 1–2 тижнів після закінчення терміну продажу. Охолоджена сметана після відкриття її зберігається зазвичай 7–10 днів.

5.4.1. Фізико-хімічні властивості. Інгрєдїєнти

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; цей крок полягає в тому, щоб переконатися в наявності бажаної або дозволеної кількості молочного жиру. Мінімальна кількість молочного жиру, яка повинна бути в сметані, становить 18%. Під час цього етапу виробничого процесу до крему додають інші сухі інгрєдїєнти, наприклад додаткову сироватку. Інша добавка, яка використовується на цьому етапі обробки, це ряд інгрєдїєнтів, відомих як стабілізатори. Звичайними стабілізаторами, які додають до сметани, є полісахариди та желатин, у тому числі модифікований харчовий крохмаль, гуарова камедь та карагенани. Стабілізатори забезпечують більш гладку текстуру, створюють специфічні гелеві структури та зменшують синерезис сироватки. Це продовжує термін придатності продукту. Синерезис може виникнути під час транспортування, коли тару зі сметаною штовхають і перемішують. Наступним кроком у виробничому процесі є підкислення. Органічні кислоти, такі як лимонна кислота або цитрат натрію, додають до крему перед гомогенізацією. Це підвищує метаболічну активність закваски. Виробники нагрівають суміш протягом короткого періоду часу, щоб підготувати її до гомогенізації.

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 вершках. 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 LАВ 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 цього процесу охолодження сметана фасується в кінцеву тару і відправляється на ринок.

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 (і сироваткових білків, які зв'язуються з міцелами казеїну) збільшує кількість структурних компонентів у продукті; консистенцію сметани частково можна віднести до цього. 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, міцели випадають в осад при ізоелектричній точці молока, яка 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 6,5 міцели казеїну відштовхуються одна від одної через електронегативність зовнішнього шару міцели. Під час цього падіння рН відбувається зменшення дзета-потенціалу, від високого сумарного негативного заряду у вершках до відсутності сумарного заряду при наближенні до ізоелектричній точці молока. Через електростатичну взаємодію молекули казеїну починають наближатися та агрегувати разом. Білки казеїну входять до більш упорядкованої системи, що сприяє утворенню сильної гелевої структури. Сироваткові білки, які були денатуровані на стадіях нагрівання під час обробки, є нерозчинними при цьому кислому рН і випадають в осад 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 ізоелектричній 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 зумовлена електростатичним відштовхуванням міцел казеїну. Ці міцели казеїну агрегували та випадали в осад, коли вони наближалися до значень абсолютного дзета-потенціалу при рН 4,0–4,5. Після термічної обробки та денатурації сироватковий білок покриває міцели казеїну, ізоелектрична точка міцели підвищується до 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 використовується як приправа до їжі або в поєднанні з іншими інгредієнтами для приготування соусу. Її можна додавати в супи та соуси, щоб вони стали густішими та кремовими, або у випічку, щоб підвищити рівень вологи понад молоко. У техасько-мексиканській кухні її часто використовують як заміник крему в начос, тако, буріто та тако (мексиканські страви).

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. 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.

7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
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 збільшенням терміну зберігання. Традиційні процеси термічного концентрування найбільше застосовуються в молочній промисловості, однак високі температури можуть пошкодити біоактивні сполуки в молоці, крім зміни фізико-хімічних, сенсорних і поживних характеристик концентрованих продуктів. У цьому розділі підсумовується важливість заміни традиційних методів концентрування нетрадиційними нетепловими процесами, які можуть надати перевагу молочній промисловості завдяки концентрації, що дозволяє зберегти білки, ферменти, вітаміни, колір і смак продукту.



Рис. 28. Вакуумна сублимаційна сушарка молока [30]

Альтернативні методи, такі як концентрування заморожуванням, процеси мембранного розділення та сублимаційна сушка, складають останні роботи щодо нових методологій концентрації молочних продуктів без зміни специфічних властивостей та підвищення якості, що є однією з головних цілей для молочної

промисловості. Завдяки порівняльному дослідженню з останніми дослідженнями, цей огляд висвітлює деякі альтернативні процеси концентрування, які можуть підвищити продуктивність і підвищити якість концентрованих молочних продуктів. Завдяки новим екологічно стійким методам і можливості зниження витрат на процес концентрації ці нові методи концентрації стають привабливими для молочної промисловості з технологічної та 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 з'ясовуються як чудові джерела поживних речовин, які 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 молочній 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 традиційні методи концентрації найбільше застосовуються у виробництві молочної продукції, головним чином процеси випаровування та сушіння розпиленням. 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, які були розроблені та досліджені у виробництві молока. З метою зменшення негативних наслідків звичайних процесів концентрації та сприяння високій якості молочних продуктів ці альтернативні процедури зберігають сенсорні та смакові властивості та зберігають харчові пігменти, оригінальні леткі сполуки, вітаміни, ферменти та білки. У останніх дослідженнях процесів концентрування молока такі технології, як концентрування за заморожуванням, мембранне відділення та сублімаційна сушка, є ефективними, задовільними та здатними замінити традиційні процеси концентрації та розробити концентровані молочні продукти високої якості. Дослідження можуть принести важливу та привабливу інформацію для молочної промисловості, яка може застосовувати різні процедури концентрації відповідно до бажаних характеристик своїх виробничих процесів. Альтернативні процеси концентрації молока мають кілька методів і різних процедур, що надає унікальні властивості кожному процесу.

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.

На якість сухого молока великий вплив має спосіб його виробництва, іншими словами термічну обробку при його виробництві, зокрема, використання обладнання та самої технології 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. Пропонуючи найнижчі річні капітальні витрати (приблизно 4 млн євро) і високі рівні концентрації, випаровування вважається найбільш практичним підходом до концентрації.

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 з 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 паром. 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, такі як згущене молоко, *дульче де лече* та звичайне згущене молоко, продаються як концентровані рідини.

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 Майяра зі змінами кольору, текстури та смакових аспектів.

Наступна ізомеризація та термічне розкладання лактози є паралельними реакціями до реакції Майяра, і такі продукти, як мурашина та оцтова кислота, окиснення лактози також призводять 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 денатують і відбуваються зміни в розмірі та структурі міцел казеїну, зменшуючи кількість іонів кальцію та фосфату, що також призводить до зниження рН через те, що вони залишаються вільними іонами в сироватковій фракції для подальшої взаємодії під час утворення

кислотного згустку. Цей наступний коагулят від денатурації сироваткових білків і міцел казеїну може призвести до спричиненого теплом забруднення всередині випарників, збільшення в'язкості, зниження теплопередачі та енергоефективності обладнання. Крім того, спричинене теплом накопичення білка на внутрішній контактній поверхні випарника може викликати розмноження мікроорганізмів і проблемне зниження якості продукту, наприклад зміни кольору, смаку та текстури. Зростання патологічних мікроорганізмів також може становити загрозу для здоров'я споживача, оскільки промисловість відповідає за якість і безпеку харчових продуктів, від переробки до ринку.

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 цікавим рішенням для тих, хто не має прямого доступу до належного охолодження, що характеризує його практично для споживання. Завдяки функціональним і поживним властивостям молока та високій цінності його компонентів сухе молоко та сухі молочні продукти вважаються цінним концентрованим інгредієнтом для різноманітного застосування в харчових продуктах, таких як пекарні, кондитерські вироби, дитячі суміші, м'ясні продукти та харчові продукти. Зберігання свіжого молока створює перешкоди через величезний обсяг молочної переробки та потребу в охолодженню зберігання, транспортуванні та збуті.

Сушка – це традиційний спосіб концентрування їжі та полегшення логістики, поводження з молоком, збільшення терміну зберігання та стабільності продукту. Основною метою перетворення свіжого молока в сухе молоко є перетворення рідкої швидкопсувної 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 корму з розчину, суспензії або пасти 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 однієї, двох або трьох ступенів. На відміну від випарників, у розпилювальній сушарці не відбувається відновлення прихованої теплоти пари. Сушіння відповідає до 15% промислової потреби в енергії, і, якщо порівнювати з концентрацією шляхом випаровування, потреба в енергії в процесі сушіння розпиленням у 10-20 разів більша на 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 відбувається одночасно з охолодженням повітря. Концентрований продукт перетворюється на краплі розміром $10\text{--}200\text{ мкм}$, 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 висока температура, необхідна для цього процесу, зменшує чутливі до тепла харчові та сенсорні компоненти вихідної матриці. 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 смак сухого молока. Крім того, після висихання жир розподіляється на поверхні частинок незбираного молока, і ця конформація впливає на розмір висушених пластівців і впливає на взаємозв'язок між частинками порошку, утворюючи небажану пастоподібну характеристику.

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 розпиленням 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. Дослідження та розробка нових процесів концентрації харчових продуктів дозволяють галузям робити нові вибори, покращуючи виробничий ланцюг.

6.2.5. Імпульсне розпилювальне сушіння молока

Серед інновацій технологій переробки рідкого молока в сухе виділяється імпульсне розпилювальне сушіння, засноване на імпульсному спалюванні, вперше відкритому у 1777 році, і було широко розроблено лише в 1970-х роках та оцінено для різних застосувань, таких як обробка харчових продуктів. Механізм імпульсного розпилювального сушіння був детально описаний у літературі, і тип імпульсної камери згоряння Гельмгольца є найбільш часто використовуваним у промисловості. 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 корму 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). Повідомляється, що порошок яєчного білка, отриманий за допомогою імпульсного розпилювального сушіння (температура сушіння на виході 76,6 °C), містить більш дрібні частинки, згідно з іншими дослідженнями, з більш білим кольором і кращими характеристиками поверхні, ніж еквівалентний порошок, який сушать за аналогічних умов сушіння. Однак дослідження, що детально описують застосування імпульсного розпилювального сушіння до харчових матриць, дуже обмежені, і, наскільки відомо, жодного дослідження знежиреного молока не було опубліковано. Таким чином, це дослідження мало на меті усунути цю прогалину шляхом порівняння фізико-хімічних властивостей сухого знежиреного молока, отриманого за допомогою імпульсного розпилювального сушіння, з традиційним розпилювальним сушінням, отриманим з використанням низки різних температур сушіння на виході (70, 80, 90 і 100 °C).

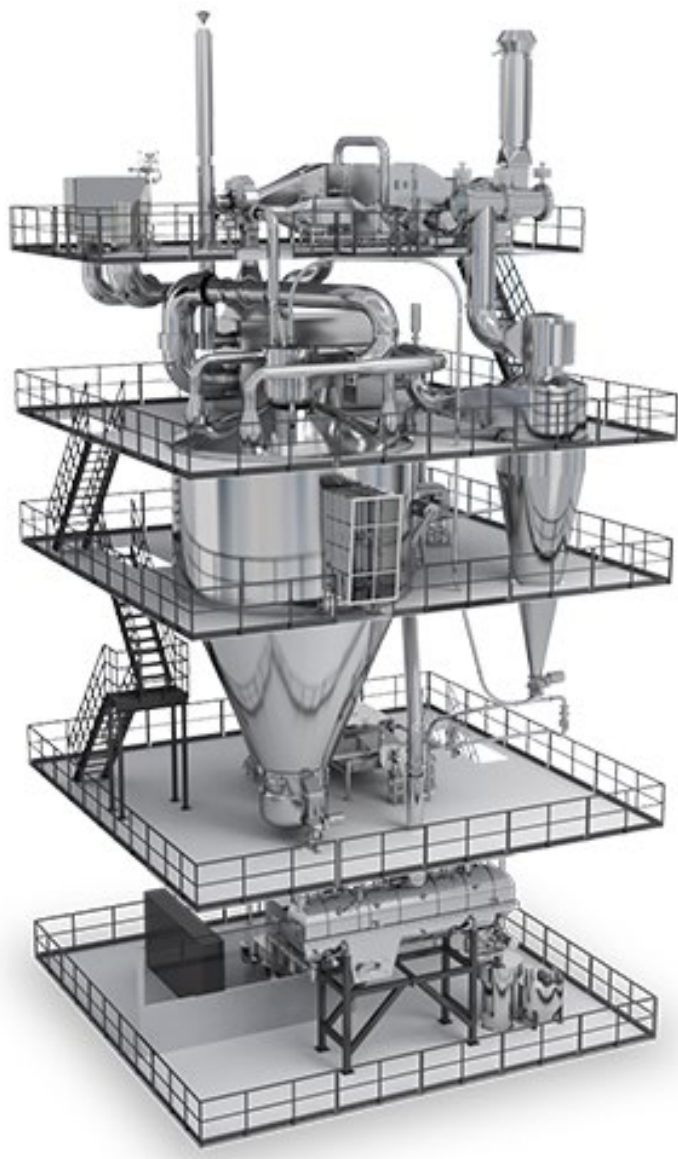


Рис. 30. Установка сушіння молока імпульсним розпилюванням [32]

Підвищення температури на виході призвело до зниження вмісту води та насипної щільності, не впливаючи на розчинність порошку та вміст нативного сироваткового білка. Хоча значні відмінності через технологію сушіння спостерігалися для жовтизни та індексу потемніння, вплив на зовнішній вигляд зразків був мінімальним. Крім того, імпульсне розпилювальне сушіння демонструє переваги в сипучості, а розчинність сухого молока завжди перевищує 98%. Розподіл частинок за розміром і результати мікроскопії для розпилювального сушіння і імпульсного розпилювального сушіння показали наявність дрібних частинок, що впливають на змочування і текучість, згідно зі

спостережуваним коефіцієнтом Гауснера (характеристики плинності гранул) та значеннями індексу Карра (показник стислості). Тенденції до агрегації спостерігалися при низьких температурах сушіння; отже, температури вище 80 і 100 °С для імпульсного розпилювального сушіння і традиційного розпилювального сушіння, відповідно, будуть кращими. Навіть якщо пряме порівняння між цими двома технологіями є складним, через різні конфігурації та розміри сушарок, результати вказують на те, що після оптимізації імпульсного розпилювального сушіння може пропонувати сухе знежирене молоко з концентрату знежиреного молока із загальною якістю, порівнянною з такою для аналогічних продуктів, отриманих із звичайним розпилювальним сушіння, але з меншими потребами в енергії.

6.3. Альтернативні процеси концентрування у виробництві молока

Молочна промисловість привертає все більше уваги до нетрадиційних процесів концентрації як засобу зменшення негативного впливу традиційних технологій обробки. Нетермічні технології зберігають максимум біологічно активних сполук молока, отримуючи концентрований молочний продукт високої якості, поживної та функціональної цінності, сенсорно сприйнятій і компенсуючий загальні витрати виробництва. Досягнення нових досліджень підтримують промисловість у застосуванні нових технологій у виробництві молока відповідно до потоку виробництва, методу роботи та типу молочних продуктів, оскільки альтернативні технології розробляють продукти зі специфічними властивостями для кожного типу методу, що також стає фактором вибір для промислового сектора при великомасштабному застосуванні.

6.3.1. Концентрування замороженням

Процес концентрування заморожуванням – це технологія нетермічного концентрування, яка застосовується в рідких харчових продуктах і заснована на розділенні твердої 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, летких сполук і смаку молочних продуктів. Заморожені концентровані молочні продукти можна використовувати в різноманітних харчових рецептах або як проміжну матрицю при переробці молока. 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 їжі, 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.



Рис. 31. Установка для кріоконцентрування рідких харчових продуктів [33]

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.

Концентрування заморожуванням суспензії є найбільш складним і розширеним методом концентрування заморожуванням, заснованим на утворенні окремих кристалів льоду при подачі рідкої матриці при низьких температурах. 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 колоні зі стисненням для обробки кристалів льоду високої чистоти. Концентрація поступового заморожування є одним із найважливіших методів

концентрування рідких харчових продуктів і базується на шаровій кристалізації, під час якої на холодній поверхні утворюється велика маса льоду, що легше відділяється завдяки кристалам льоду, які прилипають до поверхні. Цей процес простіший і повинен бути розроблений відповідно до конкретних властивостей рідкого корму, фракції концентрату та його виходу в кінці процедури. Витрати на експлуатацію, обладнання та технічне обслуговування є низькими, що робить цей процес перспективним для застосування у великих масштабах та заміни складності концентрації кристалізацією суспензії. Цей тип концентрації заморожування доведено як ефективний у дослідженнях розділення та концентрування молочних продуктів, які були розроблені та вдосконалені відповідно до молочної матриці та конкретних потреб. У сепарації знежиреного молока вперше була запропонована система прогресивного концентрування заморожуванням, який виявився ефективним методом концентрування молока та пропонував цікаву економію енергії порівняно з методом суспензії та збереженням поживних речовин концентрованого знежиреного молока. 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 тверда тушка, 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. В результаті збільшення в'язкості обернено пропорційно здатності відокремлювати концентрат від фракції льоду, що обмежує ефективність 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. Порівнюючи фізико-хімічні параметри знежиреного сухого молока за допомогою традиційних методів концентрування (випарювання) та альтернативних процесів перед сушінням, таких як концентрація заморожуванням, отримані продукти з високою яскравістю, хорошою плинністю та термостабільністю сухого молока від попередньої концентрації заморожування. 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 можна легко застосувати у виробництві молока з метою отримання стабільних концентрованих продуктів із високим вмістом сухої речовини без необхідності збагачення рецептури білками сироватки, сухим молоком або добавками для покращення кольору молочних продуктів. Дослідження показують, що концентрація заморожування є важливою технологією для сприяння високій легкості, в'язкості та перевитоку для морозива з концентрованим заморожуванням знежиреного молока і замінено концентратом сироватки. Крім того, нещодавні дослідження показують, що високий вміст сухої речовини концентрату може запропонувати велику концентрацію поживних речовин і субстратів для розвитку пробіотичних клітин і бути хорошим носієм у молочних продуктах, забезпечуючи високу якість і функціональну цінність.

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 проникності 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. Процедура 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. У цьому випадку мікрофільтрація важлива для забезпечення безпечної їжі для споживання, видалення спор, які не були інактивовані в процесі пастеризації/стерилізації молока, на додаток до подовження терміну зберігання, оскільки соматичні клітини індукують ліполітичні та протеолітичні реакції молока, пошкоджуючи сенсорні характеристики, колір, смак і консистенція.

Для процесів ультрафільтрації розмір пор коливається від 10 до 100 нм, працює 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 хвороботворних мікроорганізмів і спор, дозволяє зменшити втрати поживних речовин, зберегти максимум властивостей молока, дозволити висока швидкість потоку та підвищення врожайності. 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 MF та UF, є перспективними у сироварінні, які забезпечують мікро або ультрафільтроване молоко, яке можна використовувати для стандартизації білка та покращення текстури та виходу сирів. У виробництві сиру Рессогіно 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.

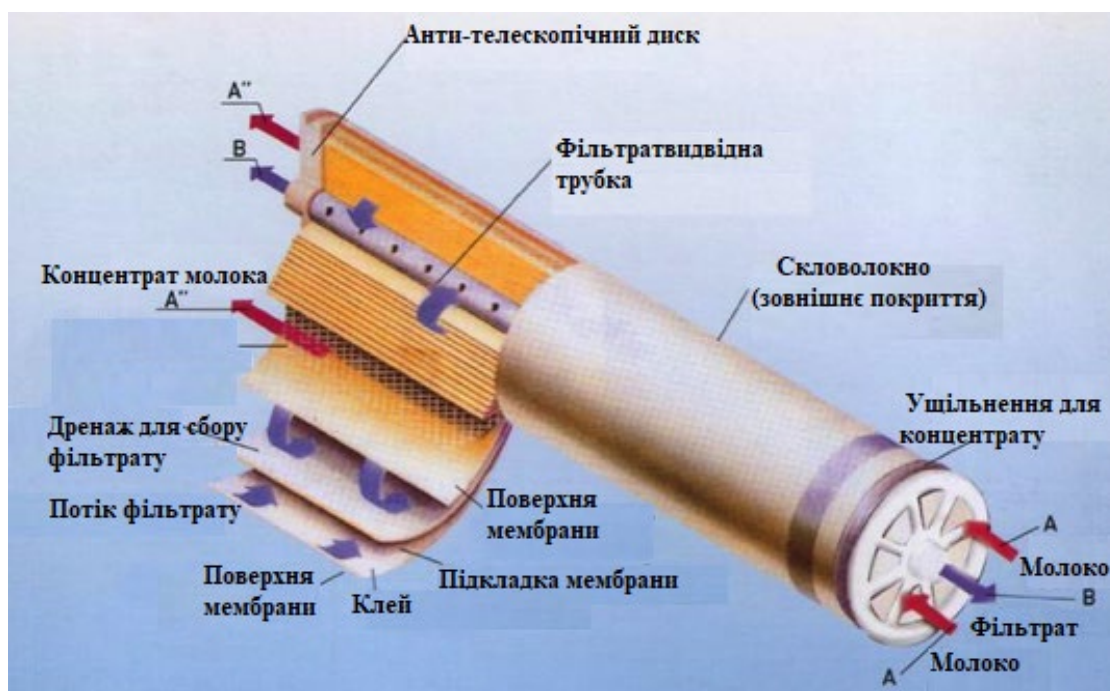


Рис. 32. Мембранний фільтр рулонний [34]

У пермеаті мінерали та фракція лактози можуть постраждати через взаємодію білка та 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. Для мінералів тільки дві третини, зв'язані з міцелярними білками (зазвичай фосфатом кальцію), залишаються в мембрані, тоді як розчинні проникають через неї. Мінерали, які переходять із фракцією сироватки шляхом взаємодії або у формі вільних іонів і солей, можуть впливати на функціональні властивості пермеату, на його буферну здатність і впливати на виробництво сиру. Крім того, температура в мембранному розділенні може впливати на розподіл компонентів і фізико-хімічні властивості молока. Відповідно до мікрофільтрації знежиреного молока проводили при 4, 8 і 12°C. Під час сепарації вимоги до механічної та теплової енергії під час MF знежиреного молока сильно залежали від температури обробки (при 4°C = 27,6 кВт-год, при 8°C = 24,6 кВт-год і 12°C = 22,9·10⁻³ кВт-год) з найвищими потребами в енергії для UF при 4 °C через високу в'язкість і виділення тепла під час перекачування, що збільшує енергію, необхідну для підтримки нижчої температури. Що стосується вмісту білка, забруднення мембрани, спричинене міцелами казеїну, знизило концентрацію β-казеїну, β-лактоглобуліну та α-лактальбуміну в пермеаті протягом усього процесу MF. Однак дисоціація β-казеїну у фракції сироватки є вищою за нижчих температур, що дозволяє збільшити його розподіл у пермеаті при 4 °C. MF за нижчих температур може забезпечити виробництво молочних потоків нового покоління з новими білковими фракціями.

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 засмічення. 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 більше 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 зростає; однак необхідно зменшити високе енергоспоживання процесу, коливається від 3820 до 5500 кДж.кг⁻¹ : найвища потреба в енергії серед усіх процесів 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. Відповідно до цього дослідження, ліофілізоване сухе верблюже молоко мало найвищу здатність до диспергування (67,15%) і розчинність (88,77%). Це можна пояснити цим процесом, який робить продукти легшими, ніж інші методи сушіння.

Низький вміст твердої речовини під час сублімаційного сушіння призводить до утворення пористих частинок, оскільки на етапах сушіння видаляється велика кількість води. Найнижча кислотність була отримана в ліофілізованих сухих верблюжих молока порівняно з методом розпилювальної сушки (0,193% проти 0,211%), що може спричинити збільшення осадження мінералів, розпад лактози та реакції Майяра зі значним і необоротним зниженням рН. Ці реакції, завдяки застосуванню високих температур, також зменшили вміст кальцію та заліза в сухому верблюжому молоці порівняно з процесом сублімаційного сушіння (0,011–0,012 г/кг проти 13,71 та 15,33 г/кг відповідно), підкреслюючи, що важлива підтримка поживних і функціональних сполук у концентрації шляхом ліофільної сушки. 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 амфифільними 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 $pH < 4,6$, 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 регідrataції. 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, використання технології сублімаційного сушіння, а також усіх альтернативних технологій концентрації дозволяє розробляти функціональні молочні продукти зі збереженням їх поживних властивостей і покращеною якістю, вказуючи на ці нетрадиційні методи як потенційні заміники концентрації молочних продуктів у молочний сектор.

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. Нещодавні 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 за 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. Ці вдосконалення були б фундаментальними головним чином для технологій ліофільної сушки та блокової сублімаційної концентрації, які здійснюють ефективний процес концентрації, але з низькими виходами і, отже, непридатні для промислового

виробництва сьогодні. Застосування процесів нетермічної концентрації, окрім забезпечення високої поживної та сенсорної якості молочного продукту, може бути пов'язано з екологічно привабливими процесами зі зменшенням використання невідновлюваних джерел енергії, таких як блок концентрація заморожуванням та альтернативи обробки побічних продуктів виробництва молока в останніх аспектах процесів мембранного розділення. Завдяки постійним дослідженням і розробкам у молочному секторі промислова заміна традиційних технологій концентрації нетермічними методами стає майбутнім потенціалом і відмінністю в кінцевій якості продукту, виграючи перевагу споживачів і стаючи цікавою альтернативою в конкурентному промисловому секторі. з економічної та технологічної точки зору.

Концентровані молочні продукти є одними з найважливіших промислових товарів для молочної промисловості завдяки високій доданій вартості, зменшеному об'єму та меншим транспортним витратам. Крім того, процеси концентрації збільшують термін придатності, що може розширити логістику розподілу. Процеси випарювання та розпилювального сушіння є методами термічного концентрування, які все ще є традиційними в молочної промисловості, однак вони є неможливими процесами через вимогу високих витрат енергії та зниження поживних, функціональних та сенсорних властивостей молока та молочних продуктів. Нині вивчаються дослідження щодо застосування нових технологій нетермічної концентрації як засобу зменшення несприятливих наслідків традиційної обробки та представлення перспективних альтернатив для молочної промисловості. Серед нових методів концентрації молочних продуктів процеси мембранного розділення мають перевагу завдяки високій швидкості потоку, які здатні видаляти бактерії та спори з матриці з низьким витратам енергії та зниженню загальних витрат. З іншого боку, сублімаційне концентрування та сублімаційне сушіння, якими б перевагами вони не володіли, не зберігають біоактивні сполуки в молоці та дозволяють підвищити якість концентрованих продуктів, стають енергозатратними, мають низький вихід і неможливі для великомасштабного

виробництва. Останні дослідження щодо застосування нетрадиційних процесів у концентруванні молочних продуктів є фундаментальними для промислового сектора, що дає змогу впроваджувати нові процеси у великих масштабах і підвищувати якість комерційних концентрованих 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?

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 : НУХТ, 2012. 330 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

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.
<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 – це молочний продукт, виготовлений виключно шляхом збивання пастеризованих вершків, які відокремлюються від молока (зазвичай коров'ячого), при цьому надлишок води (пахти) видаляється. Аромат вершкового масла надають діацетил, інші речовини, такі як масляна, пропіонова та мурашина кислоти, ацетальдегід ацетоїн мають менший внесок. На додаток до 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, від 183 до 248 мг/100 г холестерину та незначні кількості кальцію, фосфору, вітаміну К 60 мкг/100 г, вітаміну D 1,2 мкг/100 г, а також низький вміст білка. Крім того, добре відомий факт, що колір вершкового масла надається наявністю каротину (лікопіну), вітаміну А та інших жиророзчинних пігментів.

За хімічним складом у ліпідній фракції коров'ячого молока переважають триацилгліцерини (98%) і незначна кількість моноацилгліцеринів і діацилгліцеринів, гліколіпідів, ефірних ліпідів, вільних жирних кислот, фосфоліпідів і стеролів. Відповідно до Codex Alimentarius 2018, вершкове масло – це жирний продукт, виготовлений лише з молока або продуктів, отриманих з молока, що містить мінімум 80% молочного жиру, максимум 16% води та максимум 2% знежирених сухих речовин. В Європейському Союзі несолоне вершкове масло має містити 82% молочного жиру. В даний час, крім традиційного вершкового масла (80% молочного жиру), виробляються інші продукти, такі як знежирене або нежирне масло. Codex Alimentarius регулює ці продукти як продукти, отримані виключно з молока з 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 жирних кислот, моноенових жирних кислот, поліненасичених жирних кислот у різних концентраціях і відрізняються 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, ще одним параметром текстури, який має особливе значення для масла, є клейкість. 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 °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, звужується 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 води (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 підігрівають 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. Механічна дія незворотно руйнує нерухомі зв'язки. Друга стадія закінчується руйнуванням агрегатної піни і утворенням дрібних грудочок жиру із злипаних 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 періодичної дії – а і безперервної дії – б [36]

Температура сколочування є основним фактором маслоутворення. По закінченні дозрівання вершки підігрівають теплою водою температурою не вище 27°C, що циркулює в рубашці 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 виробленні масла із вершків з вираженим кормовим присмаком, кислих та ін. 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 E), 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 аспектом виробництва масла є якість вершків. Якщо у вас немає якісних вершків, ви не зможете зробити якісне масло. Деякі важливі параметри для вершків - це вміст молочного жиру та рН. Жирність молока повинна бути в межах 35-40%. Якщо це значення занадто високе або занадто низьке, це негативно вплине на ефективність врожаю. Крем повинен мати рН 6,4-6,7. Якщо рН крему занадто низький (нижче рН 6,4), це свідчить про наявність небажаних бактерій. Серед інших важливих показників, які слід контролювати, — стандартна кількість мікроорганізмів у чашках, кількість коліформ тощо.

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 передбачає реакцію жиру з киснем, що призводить до появи картонного запаху. Останнє зазвичай відбувається внаслідок розщеплення тригліцеридів ліпазами (ферментами, які розщеплюють жири), що призводить до появи блювотної маси у дитини або мильного смаку. Таким чином, показники якості, пов'язані з цими реакціями, повинні бути включені під час тестування крему.

Ліпіди. 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 дигліцеридів (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 поводження з молоком може призвести до руйнування та пошкодження шарів, що оточують кульки молочного жиру. Це вводить кисень, що спричиняє окислення, або дозволяє ферментам потрапити в глобули, викликаючи розвиток смаку (гідролітичне згіркнення). Тому для маслоробства важливо зберегти якість вершків.

Ліполіз, або розщеплення тригліцеридів із виділенням жирних кислот, створює смаки, які у випадку виробництва масла можуть бути небажаними. Неушкоджені тригліцериди не мають особливого аромату чи смаку, але ферменти, такі як ліпази, можуть розщеплювати тригліцериди на вільні жирні кислоти, які є більш леткими та взаємодіють з нашими нюховими

залозами, створюючи сильний смак, який, знову ж таки, небажаний у виробництві масла.

Структура молочного жиру. Жир у молоці приблизно на 70% насичений (твердий при кімнатній температурі; одинарні зв'язки в структурі жирної кислоти) і 30% ненасичений (рідкий при кімнатній температурі; подвійний зв'язок у структурі жирної кислоти). Структура жирів у вершковому маслі дуже важлива, оскільки вони впливають на танення та м'якість масла. Як згадувалося раніше, тригліцериди є переважаючим жиром, що міститься в молоці. Тригліцериди мають структуру «камертона», яка дозволяє їм вкладатися та формувати стабільні структури, що дозволяє жиру залишатися твердим при кімнатній температурі. Однак якщо ви додасте ненасичені жирні кислоти (подвійні зв'язки), це спричинить перегин ланцюга, і тригліцериди не будуть так добре з'єднуватися один з одним. Це призводить до того, що структура стає більш нестабільною та легше «розвалюється». Наприклад, вони можуть стати рідкими при кімнатній температурі. Як уже згадувалося, це впливає на температуру плавлення та розмазуваність масла.

Чим більше у вас подвійних зв'язків (ненасичених жирних кислот), тим нижча температура плавлення, і тим більша ймовірність, що він буде рідким за кімнатної температури.

7.2. Технологія виробництва вершкового масла

Переробка масла починається з обробки молока в сепараторі молочного жиру для відділення вершків від знежиреного молока. Потім вершки пастеризують. Мінімальні параметри часу/температури для пастеризації становлять 30 хвилин при 74°C або 15 секунд при 85°C. Це вищі температури пастеризації, ніж зазвичай використовуються для обробки рідкого молока або виробництва сиру. У переробці молока досягнення високоякісного відділення молока або вершків є життєво важливим для ефективного виробництва різноманітних молочних продуктів. Це передбачає розділення молока на вершки

та знежирене молоко або видалення бактерій і спор для забезпечення кращої якості продукту та довшого терміну зберігання.



Рис. 35. Сепаратори відцентрові для молочних продуктів [37]

Відцентрові сепаратори INOXPA призначені для використання в молочній промисловості для розділення різних компонентів за щільністю. Ці сепаратори є високоефективними, дозволяючи розділяти молоко на вершки та знежирене молоко та видаляти небажані тверді частинки. Продукт надходить у високошвидкісну чашу, де відцентрова сила розділяє компоненти за щільністю. Дрібні частинки осідають, коли продукт проходить через вузькі проміжки між дисками. Продукт вищої щільності виходить через бічний вихідний отвір, а більш легкий – через центральний випускний отвір, обидва під тиском. Тверді речовини, що накопичуються навколо краю чаші, періодично видаляються.

Основні характеристики включають панель керування з сенсорним екраном, а також водяний бустерний насос і низький рівень шуму.

Бустерна насосна установка – насосне устаткування з лопатевим або об'ємним насосом, перед входом в який насос струминний створює підпір, необхідний для забезпечення безкавітаційної роботи основного насоса.

Переваги:

- освітлює та очищає молочні продукти шляхом видалення твердих частинок;
- зменшує витрати на фільтрацію;
- покращує якість продукту та подовжує термін зберігання, видаляючи бактерії та спори;
- ефективно розділяє молоко на вершки та знежирене молоко;
- призначений для зручності експлуатації та обслуговування.

Ці високі температури необхідні для пастеризації вершків, оскільки вершки мають більший загальний вміст твердих речовин, і 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 пастеризовані, 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, шляхом додавання 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, який зазвичай асоціюється з попкорном у мікрохвильовій печі. Молочна кислота, що утворюється в результаті бродіння, призводить до того, що вершкове 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).

Загартування та кристалізація. Після пастеризації (і культивування, якщо можливо), наступним кроком є загартування. Під час пастеризації в кульках молочного жиру буде рідкий жир, оскільки жир буде вище температури плавлення. Коли молочний жир охолоне, частина жиру, починаючи з зовнішнього боку жирової кульки, знову стане твердою. Під час цього етапу охолодження відбувається вплив на кристалізацію молочного жиру. У маслоробстві дуже важливо досягти бажаного балансу твердого (кристалізованого) молочного жиру та рідкого молочного жиру. Коли молочний жир охолоне, ви отримаєте ділянки всередині кульок кристалізованого молочного жиру та ділянки рідкого молочного жиру. Це співвідношення кристалізованого та рідкого молочного жиру визначає, наскільки м'яким і зручним для змащування буде масло. Чим більше твердого або кристалізованого молочного жиру, тим твердішим і гіршим буде масло. Температура вершків підвищиться в результаті віддачі прихованої теплоти кристалізації. Для ідеального збивання з мінімальною втратою жиру рідкий жир повинен бути на зовнішній стороні жирової кульки. Під час цієї міграції, або інверсії, температура підвищується. Важливо відзначити, що цей процес займає час – в ідеалі 18-24 години. Це спрощена версія задіяної хімії. Головне повідомлення полягає в тому, що взаємодія між твердим і рідким жиром у кульках молочного жиру має величезний вплив на остаточну текстуру вершкового масла та здатність до його розтікання.

Збивання. Наступним кроком у виробництві масла є збивання, яке може відбуватися як періодичним, так і безперервним процесом. Під час збивання відбувається «інверсія фази». Вершки перетворюються з емульсії

«масло-у-воді» на вершкове масло, емульсію «вода-в-маслі». Вершки збивають , щоб спонукати жирові кульки зливатися, агрегувати, об'єднуватися та утворювати тверді гранули або згустки вершкового масла. У міру того, як цей процес триває, утворюється більш міцна структура , що складається з гранул вершкового масла, у той час як пахта вивільняється та зливається зі збійника.

Обробка, засолювання, пакування та охолодження. Останніми етапами є обробка, засолювання, 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 ядра, що утворилися в кремі під час темперування, ростуть і можуть зменшити розтікуваність. Занадто швидке охолодження може призвести до короткого, крихкого тіла та текстури. Ідеальна здатність до нанесення розвивається десь посередині.

Маслоробна машина BUE. Машина призначена для безперервного виробництва вершкового масла з солодких або сметаноподібних вершків за методом Фріца. Масло, вироблене в цій машині, відповідає високим вимогам німецьких стандартів масла. Крім кисловершкового масла, дозатор трьох рідких добавок дозволяє виготовляти молочне або солоне вершкове масло. Вершки точно нагріваються до постійної температури та збиваються до гранул вершкового масла в циліндрі. У циліндрі гранули охолоджуються в охолодженій масляній ванні перед тим, як вершкове молоко зливається з масляних грудок. У текстуризаторі масло розминають, щоб злити більше вершкового молока. Потім можна дозувати воду, пахту, молочну культуру, сольовий розсіл або інші рідини, і багатоступеневий міксер рівномірно змішує всі інгредієнти. У вакуумну камеру витягується закрите повітря. Згодом у текстуризаторі масло ще раз ретельно вимішується та перемішується, а вбудований насос для масла забезпечує безперервне вивантаження.

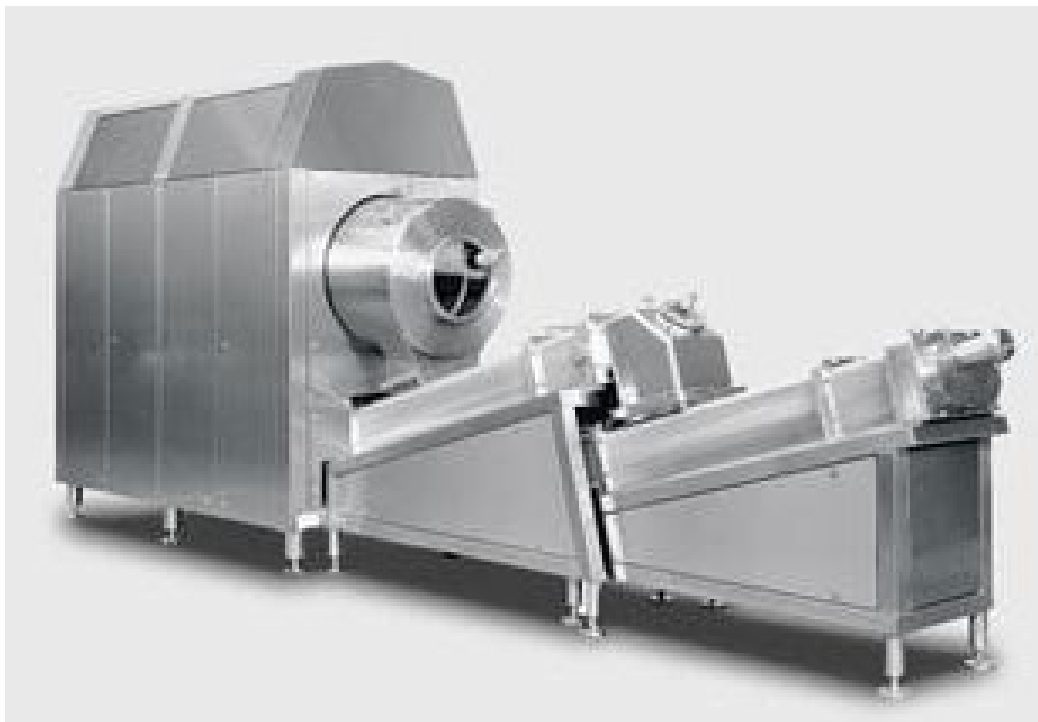


Рис. 36. Маслоробна машина BUE [38]

Машину можна повністю чистити CIP. Концепція очищення GEA забезпечує відновлення продукту майже без втрат. Усі приводи машини мають частотне регулювання. Машина має повний 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 напівавтоматична машина для розливу, призначена для наповнення готових коробок (bag-in-box).



Рис. 37. Машина для розливу вершкового масла ORG [39]

Тип дозування – екструдерний, об’ємний. У своєму складі має пневматичну систему повороту коробки, змінну дозувальну головку для коробки другого розміру, пневматичний комплект автоматики: різак і штовхач ящиків, цифрові ваги для контролю ваги та допоміжний транспортер.

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
Номінальна 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 стало відомим серед споживачів завдяки своєму винятковому аромату та смаку. Тим не менш, звичайне вершкове масло вважається «нездоровим» через високу концентрацію насичених жирів і холестерину, які пов'язані з розвитком серцево-судинних захворювань. Покращення користі вершкового масла для здоров'я стало важливою темою досліджень у маслоробній промисловості. Цей розділ зосереджений на дослідженнях, які покращили функціональність вершкового масла, включаючи зміни в складі жирних кислот, зниження холестерину, включення біологічно активних речовин, розробку нових джерел. Зменшення вмісту насичених жирних кислот і холестерину у вершковому маслі може допомогти знизити ризик захворювання через вживання масла. Крім того, введення пробіотиків або натуральних рослинних екстрактів може досягти таких поживних функцій, як збалансування кишкової флори, покращення засвоєння поживних речовин і підвищення антиоксидантної здатності організму. Замінники масла можуть базуватися на нових рослинних оліях, жирах комах або мікробних жирах, які задовольняють вимоги споживачів щодо низькокалорійного масла, одночасно зменшуючи вплив на навколишнє середовище, який є результатом виробництва масла.

Безперервне виробництво масла. Завод і обладнання для виробництва масла виробляють першокласний продукт з великою дбайливістю з найкращим розтіканням і розподілом вологості. до 10 т/год. Виробник – Швейцарія.

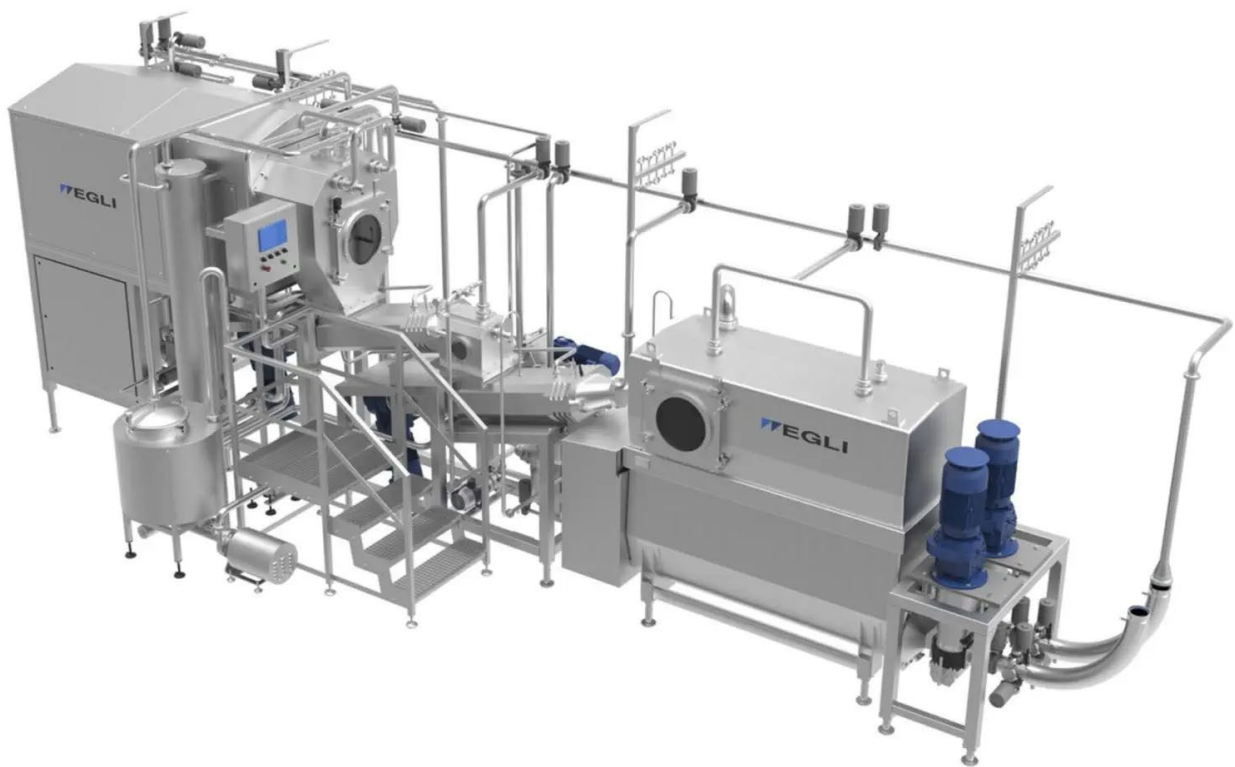


Рис. 38. Машина для виробництва високоякісного вершкового масла [40]

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 олії, 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 затвердіння 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 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 несолоне 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 отримують з молока і містить високоякісні поживні речовини, включаючи вуглеводи, білки, жири та мікроелементи, у формах, які легко засвоюються. У деяких експериментах вершкове масло часто використовують як джерело жиру в раціоні. Наприклад, його порівнюють з n-6 поліненасиченими жирними кислотами, щоб вивчити його вплив на жир у печінці, запалення та метаболізм у людей із ожирінням. Бутират, який у великій кількості міститься у вершковому маслі, переконливо продемонстрував, що відіграє вирішальну роль як медіатор у кишково-мозковій системі зі значним впливом на неврологічні розлади.

Оксибутират натрію (бутират, бутік, бут, буратино, ковпачок) – лікарський препарат синтетичного походження, що має виражену ноотропну дію, викликає залежність. В основі бутирату лежить натрієва сіль гамма-оксимасляної кислоти, за своєю дією схожа на гамма-аміномасляну кислоту.

В даний час бутират досліджується як експериментальне фармакологічне втручання, спрямоване на неврологічні розлади, включаючи депресію, нейродегенеративні розлади та когнітивні порушення. Однак споживання вершкового масла слід контролювати в розумних межах. Розробка функціонального вершкового масла з перевагами для здоров'я стала суттєвою темою досліджень масла, щоб мінімізувати потенційні ризики для здоров'я, пов'язані зі споживанням масла.

Функціональні харчові продукти є частиною нової ринкової ніші, яка прагне визнання споживачів, задоволення та прийняття. 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 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 функцію традиційного вершкового масла можна покращити шляхом покращення профілів жирних кислот, зниження рівня холестерину, додавання біологічно активних компонентів і розробки нової сировини. Крім того, розробка продукту заміни вершкового масла також стала темою уваги в останні роки. У цьому розділі розглядається застосування інноваційних технологій і сировини у виробництві функціонального вершкового масла або його заміни, а також різні характеристики функціонального вершкового масла.

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 кишечника. Однак вершкове масло має високу частку насичених жирних кислот (SFAs – Saturated Fatty Acids) і низький вміст n-3 жирних кислот. SFAs може призвести до ожиріння, проблема, яка широко визнана. Ожиріння є добре відомим фактором ризику багатьох супутніх захворювань, таких як діабет 2 типу, серцево-судинні захворювання, стеатогепатит, певні види раку та психічні захворювання, включаючи деменцію та когнітивні порушення.

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), докозагексаєнова кислота (DHA) і ейкозапентаєнова кислота (EPA). Високий вміст n-3 жирних кислот у риб'ячому жирі пов'язаний із сприятливим впливом на роботу серця, мозку та нервової системи. Користь споживання риб'ячого жиру для здоров'я була підтверджена численними дослідженнями, включаючи профілактику серцево-судинних захворювань, раку та хвороби Альцгеймера. Крім того, було доведено, що жирні кислоти, що містяться в рибі, мають позитивний терапевтичний ефект при ожирінні, діабеті 2 типу, депресії, неалкогольній жировій хворобі печінки та інших пов'язаних із цим захворюваннях. N-3 жирні кислоти не тільки знижують ризик серцево-судинних захворювань, але також покращують серцевий ритм і знижують ризик серцевого нападу, високого кров'яного тиску, рівня ліпідів і атеросклерозу. Незважаючи на продемонстроване та підкреслене значення n-3 поліненасичених жирних кислот (n-3 ПНЖК) для здоров'я людини, їх споживання в щоденному раціоні залишається низьким, додавання риб'ячого жиру в їжу є ефективним способом збільшення споживання n-3 жирних кислот серед населення.



Рис. 39. Риб'ячий жир [41]

Додавання риб'ячого жиру до масла може збільшити частку ПНЖК у складі його жирних кислот, що допомагає знизити ризик серцево-судинних захворювань, пов'язаних із споживанням масла. Крім того, гідрофільні компоненти вершкового масла покращують окислювальну стабільність риб'ячого жиру, забезпечуючи кращу поживну цінність. Дослідження показали, що масло риб'ячого жиру позитивно впливає на рівень n-3 ПНЖК у плазмі, еритроцитах і клітинах печінки хом'яків порівняно з комерційним маслом.

Додавання риб'ячого жиру до традиційного вершкового масла змінило його текстуру шляхом підвищення адгезії та зниження твердості та точки плавлення. Масло риб'ячого жиру забезпечує виняткову намазуваність, однак його сенсорні властивості поступаються властивостям звичайного вершкового масла через виразний аромат риб'ячого жиру. При приготуванні масла риб'ячого жиру оптимальне співвідношення риб'ячого жиру до вершків становило 5:95 мас./мас., і ця формула могла зробити вміст ЕРА в кінцевому продукті, досягаючим 2,05%.

Щоб звести до мінімуму вплив запаху риб'ячого жиру, було розроблено кілька методів непрямого додавання. Попередні дослідження вивчали вплив додавання риб'ячого жиру в коров'ячий корм на поживну якість молока. Після годування корів олією тунця протягом десяти днів рівні ЕРА і ДНА в молоці підвищилися на 6,9 і 10,1 г/кг молочного жиру відповідно, що призвело до збільшення загальної концентрації n-3 ПНЖК у молочному жирі в 3–4 рази. Вершкове масло в групі риб'ячого жиру було значно м'якшим, ніж у контрольній групі як при 4°C, так і при 20°C. Додавання риб'ячого жиру до раціону корів не мало негативного впливу на продуктивність молочних корів або споживчу прийнятність молока та сиру. Крім того, масло риб'ячого жиру демонструвало смак, подібний до смаку контрольного масла, водночас маючи кращу стійкість до окислення.

7.5. Масло Чіа

Насіння Чіа складається з 15–25 % білка, 30–33 % жиру, 41 % вуглеводів і 18–30 % харчових волокон. Крім того, вони багаті поліфенолами і зазвичай використовуються для вилучення біологічно активних сполук і створення функціональних продуктів. Олія Чіа, порівняно з риб'ячим жиром, має більш легкий смак і містить більше ПНЖК. Було проведено кілька досліджень щодо додавання олії чіа до масла. Цей метод може збільшити кількість ALA в маргарині шляхом безпосереднього додавання олії чіа. Однак ненасичені жирні кислоти (UFA –Unsaturated Fatty Acid) олії чіа призвели до того, що стійкість до окислення вершкового масла була нижчою, ніж комерційного масла.



Рис. 40. Олія з насіння чіа [42]

Мікрокапсульована олія чіа є життєздатним варіантом для підвищення стійкості до окислення n-3 жирних кислот, що робить її ідеальним інгредієнтом вершкового масла. Додавання 8% мікрокапсульованої олії чіа до вершкового масла призвело до значного збільшення кількості n-3 жирних кислот у жирнокислотному профілі вершкового масла, а також не виявило суттєвої різниці до та після 90 днів зберігання. Це відкриття підтверджує можливість виробництва вершкового масла, багатого на ALA, шляхом додавання олії чіа. Користь для здоров'я вершкового масла, багатого на ALA, була доведена. Миші, яких годували маслом, багатим на ALA, мали більший термогенез після екстремального холоду. Добавки ALA сприяли мітохондріальному біосинтезу,

що сприяло ремоделюванню бурої жирової тканини (BAT – Brown Adipose Tissue).

7.6. Ляна олія

Насіння льону має типовий профіль жирних кислот, при цьому ПНЖК становлять 73% від загальної кількості жирних кислот, а НЖК – лише 9%. Він містить найвищий відсоток ALA, досягаючи 57%, порівняно з усіма іншими відомими насінням рослин. Додавання лляної олії до їжі ефективно підвищує рівень ПНЖК. Однак лляна олія схильна до окислення через високий вміст ПНЖК. Токсичні пероксиди, що утворюються під час окислення, впливатимуть на якість і безпеку продукту, тому лляне масло більше підходить для додавання в якості емульгатора. Вершкове масло, доповнене концентратом 6,8% лляного сироваткового протеїну, мало вміст ALA у 3,7 рази вищий, ніж у контрольній групі, забезпечуючи майже 25% рекомендованого добового споживання. І сенсорна якість збагаченого вершкового масла не вплинула на включення лляної олії.



Рис. 41. Олія з насіння чіа [43]

На додаток до олії чіа та лляної олії, традиційні рослинні олії, такі як оливкова олія, рапсова олія та кунжутна олія, також багаті n-3 ненасиченими жирними кислотами (UFA). В останні роки їх користь для здоров'я була широко досліджена. Було виявлено, що деякі нові олії, такі як олія шавлії, містять n-3

UFA і можуть замінити до 10% рослинних жирів у їжі та напоях. У 2014 році відповідно до Регламенту Комісії Європейського Союзу (ЄС) № 258/97 олію шавлії було класифіковано як новий харчовий інгредієнт і схвалено для використання як харчова добавка. Поєднання цих олій, багатих n-3 UFA, з вершковим маслом має важливе значення для розробки нових сортів вершкового масла з ненасиченими жирними кислотами.

7.7. Вершкове масло, збагачене кон'югованими лінолевими кислотами

Лінолева кислота класифікується як незамінна жирна кислота. Ризик атеросклерозу та серцево-судинних захворювань може бути знижений шляхом адекватного споживання лінолевої кислоти. Кон'югована лінолева кислота (CLA – Conjugated Linoleic Acid) – це група ізомерів, що мають два кон'юговані подвійні зв'язки, розташовані в різних положеннях жирних кислот. Помірне споживання CLA може знизити рівень холестерину, зменшити жирові відкладення та потенційно знизити ризик раку. Включення в раціон молочних корів жиру, багатого олеїновою та лінолевою кислотами, підвищує вміст CLA в молочних продуктах. Вершкове масло CLA, порівняно з комерційним маслом, має базовий сенсорний профіль, але має покращені властивості, такі як сильніший аромат, менший запах кип'яченого молока та краща здатність до намазування. Воно також може похвалитися кращою стабільністю під час зберігання, можливо, завдяки високому α -токоферолу та потенційним антиоксидантним перевагам CLA.



Рис. 42. CLA-кон'югована лінолева кислота [44]

Додавання НЖК може знизити ризик серцево-судинних захворювань, пов'язаних із споживанням НЖК. 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 в маслі

Серед усіх молочних продуктів вершкове масло має найвищий вміст холестерину (2483,44 мг/кг), що значно більше, ніж у м'якому сирі (387,50 мг/кг) і твердому сирі (382,18 мг/кг). Достатнє споживання холестерину сприяє гарному самопочуттю людського організму. Холестерин відіграє важливу роль у клітинних функціях і синтезі гормонів. Недостатнє споживання холестерину може призвести до підвищеного ризику депресії та таких захворювань, як крововилив у мозок. Попередні дослідження постійно показували, що надмірне споживання холестерину підвищує рівень холестерину у тварин і людей, тим самим підвищуючи ризик атеросклерозу. Тому Рекомендації щодо дієти США в 1977 році рекомендували людям обмежити щоденне споживання холестерину до 300 мг. Проте подальші дослідження показали, що дієта відповідає лише за невеликий відсоток збільшення холестерину та ліпопротеїнів низької щільності в організмі людини. Генетичний метаболізм є основним фактором, що сприяє

підвищенню рівня холестерину в організмі. Це свідчить про те, що рівень холестерину може підвищуватися навіть за відсутності 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. Основна рекомендація підкреслює, що прийняття здорового способу життя має важливе значення для зниження ризику атеросклеротичних серцево-судинних захворювань, і підкреслює, що здоровий спосіб життя включає здорове харчування. Широко визнана модель здорового харчування зосереджена на споживанні продуктів з низьким вмістом холестерину, включаючи фрукти, овочі, цільні зерна та молочні продукти з низьким або знежиреним вмістом жиру. Задовольняючи зростаючу потребу споживачів у дієтах з низьким вмістом холестерину, виробництво масла з низьким вмістом холестерину стало новою тенденцією в маслоробній промисловості.

Було розроблено декілька методів видалення холестерину, таких як екстракція органічним розчинником і надкритичною рідиною. Незважаючи на ефективність видалення холестерину, цим методам бракує селективності та може призвести до втрати інших поживних речовин. Інші дослідження підсумовують використання мікроорганізмів або ферментів для видалення холестерину, фітостероли, пектин, β -циклодекстрин (β -CD) та інші речовини також використовувалися для видалення холестерину. У поєднанні з процесом і характеристиками виробництва вершкового масла мікроорганізми та β -CD

використовуються для видалення холестерину в маслі. Однак застосування інших методів у вершковому маслі 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.

Була оцінена здатність молочнокислих бактерій, отриманих із традиційно ферментованого корейського кімчі, засвоювати холестерин. Масло, що бродить, містило 10^8 КУО/г живих клітин, а рівень холестерину знизився на 11% порівняно з контрольною групою. Було використано *Lactobacillus casei* VC199, *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* SE160 і VC213, *Lactobacillus plantarum* VS166 і VS513, *Enterococcus faecium* VC223 і *Enterococcus lactis* BT161 для бродіння сиру, що призводить до ефективності видалення холестерину до 23% після 60 днів бродіння. Високий вміст жиру у вершках спричиняє вузьке місце під час видалення бактеріальних клітин за допомогою центрифугування, що зрештою обмежує виведення холестерину.

Дослідники провели дослідження з використанням кульок альгінату кальцію, щоб підвищити ефективність відділення бактеріальних клітин у вершках, отже мінімізуючи вміст холестерину. В результаті вироблене вершкове масло має на 44% менше холестерину.

7.10. Видалення β -циклодекстину (β -CD)

β -CD є тороподібним 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 явно за допомогою β -CD методу, водночас практично не впливаючи на залишкову поживну цінність і профіль смаку вершкового масла.

Було знижено вміст холестерину у вершковому маслі на 95,6% шляхом додавання 5,0% β -CD, що призвело до вмісту холестерину 108,66 мг/кг порівняно з контрольним зразком. Використано β -CD для усунення 90% холестерину в вершковому маслі, в результаті чого вміст холестерину в кінцевому продукті становив 300,4 мг/кг, а також оптимізовано використання β -CD для видалення масляного холестерину, включаючи концентрацію β -CD і метод комплексоутворення. Вершкове масло, що містить 10% β -CD, показало найвищу ефективність виведення холестерину – 90,7%. Згодом запропоновано використовувати додавання β -CD для ефективного усунення холестерину в вершковому маслі без негативного впливу на його колір і текстуру. Загальна кольорова різниця (ΔE) коливалася від 0,25 до 1,13, що знаходиться в межах прийнятного діапазону. Хоча метод β -CD є одним із найуспішніших способів зниження холестерину в вершковому маслі, деякі дослідження відзначають, що цей метод може спричинити зниження консистенції. Повідомлено, що додавання β -ситостерилолеату може підвищити фізико-хімічні властивості вершкового масла з низьким вмістом холестерину, що призводить до більш твердого та липкого продукту. Крім того, β -ситостерил олеат також може перешкоджати всмоктуванню холестерину в кишечнику, ще більше збільшуючи

користь для здоров'я масла з низьким вмістом холестерину. Вершкове масло, вироблене за допомогою цього методу, можна порівняти зі звичайним вершковим маслом щодо текстури, хоча містить лише 4,9% холестерину, який міститься у звичайному вершковому маслі.

Видалення холестерину вершкового масла за допомогою мікробіологічних 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 -CD був схвалений європейськими органами влади як харчова добавка та вважається безпечним для споживання. Масло з низьким вмістом холестерину, вироблене за допомогою цих двох методів, має статус функціональної їжі, що робить його важливим кроком у пом'якшенні проблем зі здоров'ям, спричинених тривалим надмірним споживанням холестерину з продуктів 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. Деякі дослідження також показали, що пробіотики ефективно лікують і запобігають неврологічні захворювання. Численні види бактерій (і дріжджі) використовуються як пробіотики, включаючи *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* і *Bifidobacterium*. Пробіотиками для закваски у вершках є мезофільні молочнокислі бактерії, а саме *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*. Ферментація вершків різними мікроорганізмами сильно впливає на фізико-хімічні

властивості, поживний склад і сенсорні якості вершкового масла. Здорові продукти, які рекламуються як такі, що містять пробіотики, повинні містити достатню кількість живих бактерій. Деякі дослідження показують, що концентрація пробіотиків у їжі досягає 10^7 КУО/г, щоб досягти товстої кишки. Їжа з додатковими перевагами пробіотиків для здоров'я повинна містити принаймні 10^8 – 10^9 КУО/г живих клітин, щоб ефективно уникнути втрати біологічно активних речовин під час зберігання та травлення. Переробка та зберігання вершкового масла впливають на життєздатність пробіотиків, і це складно розробити нові масляні продукти з достатнім рівнем пробіотиків. В процесі 4-тижневого зберігання в холоді виживаність клітин *Bifidobacterium lactis* у вершковому маслі зменшилася, причому кількість живих клітин зменшилася більш ніж на один логарифмічний цикл протягом останнього тижня зберігання. Було вивчено виживання мікробних штамів у вершковому маслі, ферментованому *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 і *Bifidobacterium bifidum* ATCC 29521 після 60 днів холодного зберігання. Після 30 днів зберігання вершкове масло все ще має пробіотичні характеристики, а рівень активного пробіотика перевищує 10^6 КУО/г. Однак це все ще не відповідає ідеальному рівню пробіотиків.

Технологія мікрокапсулювання дозволяє поміщати пробіотики в капсулу, тим самим захищаючи їх від несприятливих умов і підвищуючи їх життєздатність і стабільність. Об'єднання технології інкапсуляції та пробіотиків є життєздатним рішенням проблеми нестабільності пробіотиків. Використано технологію інкапсуляції для упаковки *Lactobacillus acidophilus* у вершкове масло зі зниженим вмістом натрію та моделювали його проходження через шлунково-кишковий тракт, щоб оцінити рівень виживання пробіотика. Висновки показали, що зразок, що містить 5 г/100 г пробіотичної капсули, продемонстрував низьку виживаність після моделювання шлунково-кишкового тракту. Однак капсули, що містять 10 г/100 г пробіотиків, показали більш сприятливі 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 і сірість знизилися. Крім того, бродіння впливає на консистенцію та поживну якість масла. Ферментоване вершкове масло має більш м'яку консистенцію та містить більшу кількість ненасичених жирних кислот порівняно з контрольною групою. Крім того, розмір частинок капсули, що додається до їжі, може вплинути на прийнятність споживачів. Було використано видимі пробіотичні капсули для інкапсуляції *Lactobacillus acidophilus* і *Bifidobacterium bifidum* і додавання їх до масла. Незважаючи на те, що у вершковому маслі були помітні великі частинки, масло, що містить 10% капсул, все ще показало хорошу прийнятність за всіма параметрами оцінки, 81,1% споживачів мають намір його купити.

Додавання пробіотиків у функціональні харчові продукти стає все більш поширеним, оскільки вони відіграють важливу роль у досягненні здорового харчування. Інтеграція пробіотиків у багато ферментованих молочних продуктів стикається з багатьма проблемами, оскільки життєздатність і стабільність пробіотиків часто негативно впливають у багатьох молочних продуктах, головним чином через низький рН та умови зберігання. Різні методи, такі як технологія інкапсуляції та використання кріопротекторів, можуть допомогти стабілізувати пробіотики за різних умов обробки та зберігання. Сучасні дослідження в основному зосереджені на впливі додавання пробіотиків до масляних продуктів на фізико-хімічні властивості та сенсорні характеристики. Подальші дослідження за допомогою метаболомічних досліджень можуть забезпечити всебічне розуміння повного складу метаболіту, пропонуючи розуміння аромату та пов'язаних з харчуванням сполук.

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, яке зберігається при температурі нижче 5 °C, може піддаватися гниттю та ліполізу, що призводить до розмноження холодолюбивих бактерій, дріжджів і цвілі. Певні патогенні бактерії, в тому числі *Staphylococcus aureus* і *Listeria monocytogenes*, також можуть бути присутніми в маслі, яке зберігається при низьких температурах, і викликати псування.

Щоб покращити окислюваність і мікробну стійкість вершкового масла, досліджували додавання різних природних антиоксидантів або антибактеріальних компонентів. Ці добавки можуть допомогти забезпечити хорошу стабільність протягом усього терміну служби масла. Крім того, біологічна активність цих речовин може забезпечити бажані функціональні властивості для споживачів.

7.13. Додавання у масло екстракту зеленого чаю

Зелений чай є природною речовиною, багатою поліфенолами, зокрема мономерами флаванолу, відомими як катехіни, які містять різноманітні потенційні переваги для здоров'я. Зелений чай використовувався для лікування серцево-судинних захворювань, захворювань порожнини рота, хвороби Паркінсона, хвороби Альцгеймера, діабету, запальних захворювань кишечника та шкіри. Додавання екстракту зеленого чаю також покращило поживні

властивості багатьох продуктів харчування та напоїв, Використовували екстракт зеленого чаю як засіб для виробництва вершкового масла з високою доданою вартістю. Масло зеленого чаю продемонструвало значно вищі антиоксидантні властивості щодо загального фенольного вмісту та активності, ніж контрольне масло. Через шість тижнів зберігання масло зеленого чаю має нижче перекисне число та кількість дріжджів і цвілі. Незважаючи на те, що додавання екстракту зеленого чаю посилює почервоніння масла та значно зменшило світло та жовтизну, було показано, що додавання 6% екстракту не впливає на сенсорну прийнятність. Як природний антиоксидант і консервант екстракт зеленого чаю ідеально впливає на збереження вершкового масла.

7.14. Додавання у масло побічних продуктів переробки томатів

Лікопін є жиророзчинним каротиноїдом з хорошою антиоксидантною активністю, має певну захисну дію на серце і привернув увагу людей останнім часом. Побічні продукти переробки томатів є багатим джерелом лікопіну та деяких фенольних сполук. Деякі дослідження успішно застосували лікопін до деяких функціональних харчових продуктів, включаючи локшину, рослинні олії і морозиво. Результати показали, що пероксидне число зразків вершкового масла, з доданими 400 мг/кг екстракту, залишалося найнижчим після 60 днів зберігання. Побічні продукти переробки томатів можна використовувати як захисний агент проти перекисного окислення ліпідів у вершковому маслі.

7.15. Додавання у масло порошку фундука

Фундук багатий мононенасиченими жирними кислотами і містить високий рівень фітостеролів, які пригнічують всмоктування в кишечнику через їх структурну подібність до холестерину, таким чином, знижуючи загальний рівень холестерину в плазмі крові та рівень ЛПНЩ. Вони також можуть захистити від раку товстої кишки, молочної залози та простати.



Рис. 43. Фундук і порошок фундука [45]

Було вперше досліджено вплив додавання порошку фундука на хімічні та сенсорні властивості, профіль жирних кислот і вміст токоферолу вершкового масла. Перекисне число збагачених зразків було значно нижчим, ніж у контрольного вершкового масла, що може бути пов'язано з наявністю антиоксидантних сполук, таких як токоферолі, фітостероли та сквален у лісових горіхах. Додавання лісових горіхів підвищило рівень α -токоферолу у вершковому маслі. На додаток до поживних переваг, додавання фундука також сприяє кращому розподілу масла. Дослідження також показало, що вершкове масло, багате фундуком, було таким же стабільним, як і контроль, щодо сенсорних і фізико-хімічних якостей.

7.16. Додавання у масло екстракту кориці

Екстракт кориці містить різноманітні антиоксидантні сполуки, які ефективно поглинають аніони супероксиду та інші вільні радикали. Доведено, що олія кориці пригнічує ріст цвілі та дріжджів. Коричний альдегід, як консервант, також значно пригнічує ріст мікроорганізмів. Він був схвалений Управлінням з харчових продуктів і медикаментів США для використання в якості безпечної харчової добавки. Додавання екстракту кориці уповільнює ріст мікроорганізмів під час зберігання масла, що може сповільнити псування масла. Додавання 3% (мас./мас.) екстракту кориці викликало найбільшу перевагу споживачів. Хімічний склад коричневого масла відповідав стандартним вимогам, а також показав більш низькі рівні вільних жирних кислот порівняно з

контрольною групою та зразком з додаванням сорбату, показуючи потенціал екстракту кориці як природного консерванту для виробництва масла.



Рис. 44. Екстракт кориці [46]

Антиоксиданти можуть запобігти пошкодженню тканин, спричиненому вільними радикалами, запобігаючи їх утворенню, видаляючи їх або сприяючи їхньому розкладанню. Останні звіти показали, що синтетичні антиоксиданти можуть бути шкідливими для здоров'я людини. Тому зростає інтерес до пошуку природних сполук, які є ефективними, нетоксичними та мають антиоксидантну дію. Натуральні рослинні екстракти в даний час є основним джерелом для розробки антиоксидантів. Окрім ендогенних систем антиоксидантного захисту, прийнятним варіантом є споживання антиоксидантів з їжею. Тому додавання антиоксидантів у функціональні продукти харчування стає все більш важливою стратегією.

7.18. Масла, приготовлені на функціональному молоці

Хоча коров'яче молоко, як правило, використовується для виробництва масла, інтерес до функціонального молочного масла зростає, оскільки споживачі стають більш обізнаними про переваги функціональних продуктів харчування. Доведено, що це молоко має вищу харчову цінність, ніж коров'яче.

7.18.1. Масло з овечого та козиного молока

Овече молоко містить майже вдвічі більше білка, що міститься в коров'ячому молоці, має високий вміст жиру та містить необхідні вітаміни, лецитин, рибофлавін та деякі важливі мінерали. Амінокислотний склад овечого молока дуже корисний для здоров'я людини. Рівень проліну, зокрема, сприяє виробленню людського гемоглобіну. Найпоширенішою жирною кислотою, яка міститься в жирі козячого молока, є олеїнова кислота, яка, як відомо, допомагає знизити рівень холестерину ЛПНЩ. Жир овечого молока містить високий рівень лінолевої кислоти. Наявність цих поліненасичених жирних кислот пов'язана зі зниженням ризику серцево-судинних захворювань, таких як атеросклероз і тромбоз. Крім того, менший розмір жирових кульок козячого молока порівняно з коров'ячим забезпечує легше травлення та більш кремову консистенцію, що призводить до кращої якості масла. Унікальний склад вільних жирних кислот в овечому молоці надає йому виразного смаку, який передається молочним продуктам, таким як овече масло. Це призводить до більш міцного профілю смаку порівняно з козячим маслом. Крім того, овече молоко може бути більш підходящою альтернативою для людей, які страждають від алергії та шлунково-кишкових проблем з коров'ячим молоком.



Рис. 45. Масло з овечого та козиного молока [47, 48]

В останні роки виробництво молока від дрібних жуйних тварин, таких як овець і кіз, 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 °С, але має більшу швидкість танення, коли воно наближається до кімнатної температури. Він починає розм'якшуватися приблизно при 18 °С. 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. Намагаючись запропонувати альтернативи для тих, хто відчуває огиду до запаху овечого молока, висунуто ідею змішування коров'ячого та козячого молока для виробництва масла. Вони вперше дослідили характеристики цього продукту та його вплив на сприйняття та поведінку споживачів.

Дослідження показало, що зразки, виготовлені з використанням 60% козячого молока та 40% коров'ячого молока, мали загальний смак масла порівняно зі зразками, виготовленими виключно з коров'ячого молока. Крім того, використання козячого молока у виробництві масла призвело до більш липкої та твердішої текстури. Ці зразки також мали вищі концентрації коротко- та середньоланцюгових НЖК і поліненасичених жирних кислот, що призвело до більшого задоволення та полегшення травлення серед споживачів.

Природний колір вершкового масла набуває за рахунок каротиноїдів, які споживають тварини на пасовищі. Завдяки більшій ефективності перетворення харчових каротиноїдів на вітамін А масло, вироблене з козячого молока, біліше, ніж масло коров'ячого. А вищий вміст каротину в коров'ячому маслі надає йому жовтого кольору, який подобається споживачам. Дослідники досліджували використання добавок з природними пігментами для покращення зовнішнього вигляду козячого масла. Обліпіха є багатим джерелом численних корисних для здоров'я сполук, таких як вітаміни А, С і Е, ненасичені жирні кислоти, фенольні сполуки (особливо флавоноїди) і фітостероли. Показано, що введення пюре з обліпіхи в козяче масло як природного барвника було успішним. Додавання пюре підвищило кислотність і клейкість, підвищило здатність вершкового масла до диспергування при низьких температурах і змінило його природний більш білий колір. Кількість покупців, які люблять козяче масло, зросла на 35% після додавання 1,5% чистої суміші плодів обліпіхи.

Процес зберігання масла може призвести до втрати бажаних смакових якостей і утворення сполук, які негативно впливають на його смак. Досліджено стійкість до окислення та сенсорні характеристики масла з коров'ячого, овечого та козячого молока. Перекисне число овечого та козячого масла зростає впродовж зберігання, причому козяче масло демонструє найвищий рівень окислення, за ним йде овеча, потім коров'яча. Завдяки підвищеній кислотності та гнильному смаку в результаті окислення козяче та овече масло отримують нижчу сенсорну оцінку порівняно з коров'ячим маслом, яке окислюється повільніше. Щоб збільшити термін зберігання овечого масла, використано гамма-випромінювання під час виробничого процесу. Технологія опромінення може вирішувати питання якості та безпеки харчових продуктів, запобігаючи розповсюдженню патогенних мікроорганізмів, що передаються харчовими продуктами, і контролюючи псування, не змінюючи суттєво сенсорні характеристики харчових продуктів. Попередні дослідження показали, що опромінення ефективно запобігає псуванню молочних продуктів. Однак окремі

дослідження не виявили істотного впливу гамма-випромінювання на термін зберігання козячого масла.

Загалом, незважаючи на те, що овече масло має вищу поживну цінність і легкість перетравлення порівняно з коров'ячим маслом, його смак, зовнішній вигляд і стабільність при зберіганні відрізняються, що потребує подальшого вдосконалення.

7.18.2. Масло з верблюжого молока

Верблюже молоко є багатим джерелом вітамінів, мінералів і захисних білків з протираковими, антидіабетичними та антибактеріальними властивостями. Терапевтичний ефект верблюжого молока був підтверджений для багатьох захворювань, таких як набряк, жовтяниця, проблеми з селезінкою, туберкульоз, астма, анемія та геморої. Пацієнти з хронічним гепатитом повідомили про поліпшення функції печінки після вживання верблюжого молока. У регіонах Сахари масло, виготовлене з верблюжого молока, часто використовується як лікувальний засіб. Верблюже молоко має збалансований вміст незамінних амінокислот, високий відсоток легко гідролізованого β -казеїну та не містить схильного до алергії β -лактоглобуліну. Прогнозується, що протягом наступних кількох років ринок продуктів з верблюжого молока спостерігатиме 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 верблюжого масла обмежувалися розвитком технології виробництва. Хоча деякі кочівники використовують свіже або ферментоване верблюже молоко як основний інгредієнт у традиційних ручних процесах для виробництва верблюжого масла, вихід часто недостатній. Відповідно до Но et al. оптимальний спосіб виробництва верблюжого масла передбачає перемішування вершків при 15–20 °C протягом 10–18 хв. Вказано, що температура перемішування 15–36 °C необхідна для виготовлення верблюжого масла, з оптимальною температурою перемішування 25 °C, яка може призвести до виходу масла до 85%. Разом з тим було збільшено вихід верблюжого масла шляхом зміни процесу перемішування за рахунок ферментування верблюжих вершків при кімнатній температурі, з подальшим перемішуванням вертикально при 22–23 °C протягом 120 хвилин, збільшуючи силу перемішування та подовжуючи час перемішування. Це призвело до збільшення виходу вершкового масла до 80%. Частинки верблюжого масла будуть утворюватися лише тоді, коли вміст твердого жиру у вершках буде нижчим за 27,5%, а вершки перемішуються при рівно 21 °C. Деякі дослідження визначили вплив лактації на виробництво верблюжого масла. На хімічний склад верблюжого молока впливають гени, пов'язані з лактацією. Підвищений вміст білка та жиру в верблюжому молоці протягом пізнього періоду лактації призводить до більш високого виходу верблюжого масла.

Верблюже масло має білий вигляд і високу температуру плавлення, але має низьку інтенсивність смаку. Таким чином, вершкове масло з верблюжого молока може функціонувати не тільки як джерело їжі або кулінарної олії, але також як пробіотична харчова добавка для споживачів.

Окрім овечого та верблюжого молока, інші види тваринного молока мають потенціал для використання у виробництві масла. Дослідження показують, що буйволине молоко, завдяки своєму високому вмісту жиру, є оптимальним сировинним інгредієнтом для виробництва масла. Немає суттєвих відмінностей

у складі білків і жирів між буйволовим і традиційним маслом. Однак буйволине молоко містить більшу кількість жиророзчинних вітамінів, які можуть надати масляним продуктам додаткові переваги для здоров'я. В останні роки зростає дослідницький інтерес до функціонального масла, виготовленого з молока різних тварин. Різні типи джерел молока можуть бути використані як сировина для виробництва функціонального масла.

7.19. Замінники вершкового масла новою сировиною

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 замінників 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 – рослинна олія високої економічної цінності, вміст жиру в горіхах якого перевищує 60%. Жирнокислотний склад екстрагованої олії ши оптимальний як замінник вершкового масла, не містить молочних продуктів і є більш екологічним, ніж натуральне масло. Хоча кілька статей повідомляли, що масло ши, змішане з пальмовим жиром, може бути ідеальною заміною для масла какао, його використання для приготування масла не було досліджено.



Рис. 46. Масло ши [49]

Окрім каріте, авокадо багате на поліненасичені жирні кислоти та не містить холестерину, що робить його ідеальним кандидатом на заміну здорового масла. Було продемонстровано інноваційне створення натурального функціонального вершкового масла, багатого n-3 жирними кислотами, шляхом змішування коров'ячого масла, вигодуваного травою, з маслом авокадо, соком авокадо та м'якоттю авокадо, використовуючи природний антиоксидант вітамін Е.

7.19.2. Мікробне масло

Мікробна олія виробляється шляхом поєднання технології культивування мікроорганізмів і обробки олії. Гриби, дріжджі, бактерії та водорості здатні виробляти мікробну олію, причому склад і співвідношення жирних кислот змінюються залежно від конкретного мікроорганізму. Харчові мікробні олії мають багато переваг, включаючи високу чистоту, функціональність, безпеку та необмежені умови виробництва. Одноклітинні водорості, зокрема *Schizochytrium* sp., є одними з найбільш вивчених мікроорганізмів, що виробляють продукти, які використовуються в їжу. Європейська комісія дозволила використання олії *Schizochytrium* sp. як новий функціональний харчовий інгредієнт. Мікробна олія є важливим джерелом функціональної олії для різних харчових процесів, таких як приготування маргарину, і відкриває нові шляхи для виробництва функціонального вершкового масла зі здоровим складом жирних кислот.

7.19.3. Масло від комах

Ліпіди, отримані з овода та борошнистої роси, можна використовувати як заміну натуральному вершковому маслу. Коли 75% масової оцінки було замінено ліпідами комах, колір і властивості покриття масляних продуктів залишилися без змін. В окремому дослідженні заміна 25% вершкового масла жиром комах у випічці не призвела до зниження сенсорного задоволення або сприйняття продукту споживачами. Виробництво маргарину з використанням ліпідів комах, які є у великій кількості в сировині та допомагають зменшити навантаження на навколишнє середовище, заслуговує на подальше вивчення.

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 UFA може прямо чи опосередковано покращити склад жирних кислот у вершковому маслі. Хоча прямий підхід додавання цих добавок є оперативним і нескладним, деякі з цих добавок мають сильний запах, який може негативно вплинути на смак вершкового масла. Щоб подолати недолік, раціон корови можна опосередковано доповнювати цими добавками, виконавши повний цикл годівлі, але цей процес займає багато часу. Включення β -CD або

певних мікроорганізмів у вершкове масло може знизити рівень холестерину, β -CD відомий своїм чудовим потенціалом у зниженні рівня холестерину в маслі. Ферментація пробіотиків посилює користь вершкового масла для здоров'я та позитивно впливає на його смак і термін зберігання. Включення натуральних антиоксидантних і антибактеріальних компонентів не тільки гарантує стабільність здобних виробів протягом усього циклу зберігання, але й покращує функціональні властивості масла в організмі людини. Нарешті, комбінація нових жирів, включаючи олії рослин, комах і мікробів, може створити реальні альтернативи вершковому маслу. Рослинні, мікробні олії та олії комах є винятковою сировиною для виробництва альтернатив вершковому маслу, оскільки вони можуть досягти пластичності, функціональності та екологічної стійкості маргарину, сприяючи сталому розвитку харчової промисловості.

Дослідження функціонального масла викликає багато проблем. По-перше, необхідна перевірка функціональних характеристик поліпшеного масла. У той час як більшість досліджень обговорюють існування функціональних інгредієнтів та їх вплив на масляні продукти, недостатньо даних про демонстрацію покращеного впливу масла на здоров'я тварин або людей. Тому слід проводити більше експериментів на тваринах або клінічних випробувань, щоб з'ясувати зв'язок між функціональним маслом і ожирінням людини чи тварин, серцево-судинними та цереброваскулярними захворюваннями. По-друге, попит споживачів на різноманітні функціональні харчові продукти постійно зростає з постійним розвитком біоактивних інгредієнтів. Таким чином, необхідно розширити функціональні інгредієнти, які в майбутньому можна буде додавати до виробництва масла. Зокрема, з кожним роком збільшується застосування багатьох функціональних рослинних екстрактів у функціональних харчових продуктах, таких як куркумін. Вплив цих функціональних натуральних добавок у масло варто вивчити.

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 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 загуртування 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 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 наявність надлишкової кількості 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, приготовлене на функціональному молоці»?
21. Яку користь слід очікувати від споживання масла з овечого та верблюжого молока?
22. Якими властивостями володіють нові рослинні олії, чи є від них користь в наслідок споживання?

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. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
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. <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 виникло в різних країнах Західної Азії близько 8000 років тому; монголи, казаки та інші кочові жителі північно-західного Китаю традиційно називають це «молочними прищами». 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 тонн 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. Найпершим способом виробництва сиру в світі було транспортування молока до внутрішніх органів тварини, а молоко ферментувалося в сир шляхом постійних коливань під час міграції. 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 після заміни тканини. Навпаки, молоко, яке використовується для виготовлення сиру Пармезан, збирається в два окремих етапи, де нічне молоко та свіже молоко (зібране наступного ранку) змішуються в мідному сирному резервуарі. Коли температура досягає 52°C, сир загортають у марлю для нарізання, формування, пресування, а потім замочування в розсолі протягом 3 тижнів. Під час 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 старий йогурт може бути доданий або не доданий як закваска, після чого відбувається ферментація в йогурт. Далі цей йогурт 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 у свіжий сир. Потім цей свіжий 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 пов'язана з 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, багатоштамову 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 забезпечує важливі досягнення в розумінні впливу різних технологій виробництва сиру та різноманітності мікробів на смак і якість сиру.

8.2. Характеристика різних сирів

У світі існує понад 2000 різних сортів сиру, з яких більше 400 є більш 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 бактеріями. Для твердих сирів, таких як чеддер і казак, 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 деяких сортів сиру, особливо чеддер, пармезан і витриманої гауди, звичайною практикою є додавання додаткових бактерій (переважно видів *Lactobacillus*) у молоко для створення унікальних характерних смаків. Додаткові добавки можуть включати види бактерій, які пригнічують небажані бактерії в сирі та, можливо, мають пробіотичний ефект.

Сири з пліснявою (наприклад, Камамбер) і м'які сири, дозрілі на поверхні (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 сирого молока, способом приготування свіжого сиру та мікроорганізмами в молоці чи сирі (пов'язаних 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 кустарний сир, традиційно використовується для виготовлення цих сирів. Сири традиційно 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 бактерії. Коли молоко перетворюється на сир, деякі компоненти молока зберігаються, тоді як інші перетворюються на унікальні компоненти сиру. Наприклад, мікробна ферментація, якій зазнає молоко під час його перетворення на сир, може модулювати 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 фабриках може знадобитися зберігати зібране молоко протягом 1 дня перед його переробкою.

Якщо період зберігання становить від 24 до 72 годин, кількість бактерій може зрости до 10^6 колонієутворюючих одиниць/мл. Вміст жиру в сирому молоці визначається вмістом жиру, необхідного для сиру, який, у свою чергу, пропорційно залежить від вмісту казеїну в незбираному молоці. Стандартизацію молока можна здійснити шляхом додавання вершків, відділення частини жиру та додавання знежиреного молока або сухих речовин без молочного жиру для досягнення однорідної ваги та зменшення будь-яких відхилень. Для знищення шкідливих і хвороботворних бактерій, забезпечення однорідної якості та підвищення стабільності якості сиру для виробництва більшості сортів сиру використовується стерилізоване сире молоко. Стерилізацію проводять при 63°C протягом 30 хв або при $71\text{--}75^{\circ}\text{C}$ 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 кислоту 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 зменшитися через зневоднення. Зі збільшенням міцності згустку його водоутримувальна здатність знижується. Усадка згустку та випадання сироватки призводять до того, що згусток втрачає більше води та стає твердішим. Як правило, видалення сироватки проводять для видалення сироватки 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 викиду води. Додавання належного вмісту солі під час процесу виготовлення сиру може забезпечити належну кислотність сиру, покращити його текстуру та смак, контролювати кількість отворів, регулювати вологість та пригнічувати забруднюючі мікроби. Що стосується дозрівання та зберігання, 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 сиром. 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 зберігається в умовах, що не сприяють росту поверхневих мікроорганізмів. Це обмежує мікробну та ферментативну активність. Наприклад, сир чеддер дозрівають у печерах.

Для дозрівання всіх м'яких і деяких напівм'яких сирів, таких як Лімбургер і Брі, згустки зберігаються в умовах, які сприяють росту поверхневих мікроорганізмів. Наприклад, *Penicillium camemberti* бере участь у дозріванні таких сирів, як Камамбер і Брі, а *Brevibacterium linens* бере участь у дозріванні плямистих зрілих сирів, таких як Лімбург. Цікаво, що блакитні сири, такі як Стілтон і Рокфор, дозрівають цими двома способами. Навпаки, деякі традиційні сири ручної роботи, в тому числі казак і плейсентиф, не мають спеціального стандартизованого процесу виробництва; вони відрізняються залежно від традиційних методів, які використовують виробники сиру.

8.4. Розвиток технологій промислової переробки молока та її переваги

На відміну від цього, основними силами, які рухають сирну технологію, є економіка, обладнання/технології, вимоги споживачів і нормативні стандарти. Крім того, виробництво постійного та високоякісного сиру при збереженні високої продуктивності є ключовим завданням у виробництві сиру. Запровадження аналітичної технології процесу для безперервного моніторингу

та контролю відповідних параметрів обробки при переробці молока мінімізує виробництво низькоякісного продукту та підвищує продуктивність і прибутковість. Альтернативні процеси для зменшення бактеріального навантаження включають використання спеціально розроблених центрифуг або мікрофільтрації. Обробку молока перекисом водню або каталазою та бактофугування (високошвидкісна центрифуга) можна використовувати для видалення бактерій і бактеріальних спор із молока. Зовсім недавно регулювали вміст білка в молоці за допомогою технології ультрафільтрації для досягнення бажаного кінцевого складу. Переваги включають більш однорідний вихідний матеріал, вигідне використання потоку лактози та більшу пропускну здатність сухих речовин молока через сирну ванну. Вибір обладнання для кубової стадії процесу виготовлення сиру залежить від багатьох зовнішніх факторів, включаючи тип сиру, який буде виготовлено, подальшу обробку сиру, гнучкість, вартість і пропускну здатність, і це лише деякі.

В останні роки нові біотехнології для сприяння дозріванню сиру та покращенню 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 вимагати навченого 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

процесами. Крім того, використання їстівних плівок і покриттів при збереженні сиру має можливості та виклики.

8.5. Смак сиру: походження та виробництво

Сир є продуктом біохімічної динаміки, 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; та 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. Летючі смакові речовини включають спирти, кислоти, складні ефіри, альдегіди та кетони – усі вони є джерелом харчового аромату. Навпаки, нелеткі смакові речовини в основному включають органічні кислоти, амінокислоти, відновлюючі цукри, нуклеотиди, поліпептиди та інші малі молекули – усі вони є джерелом смаку їжі.

Смакові речовини сиру включають кислоти, спирти, складні ефіри, кетони та лактони – на всі вони 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 зміни: розпад вуглеводів, гідроліз білка та розпад жиру. Вторинний метаболізм відповідає за формування специфічного смаку сорту сиру. В основному це включає декарбоксилювання амінокислот, трансамінування, дезамінування, десульфатування, бета-окислення жирних кислот та етерифікацію. 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.

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 метаболізується в пропіонати, ацетати, вуглекислий газ і воду, серед яких вуглекислий газ є причиною характерних «очей» 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 залишилася в згустку лактоза 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 деякий цитрат-позитивний лактат (наприклад, *L. lactis* і *Leuconostoc*). Діацетил є важливою ароматичною сполукою, яка перетворюється на ацетоїн, 2,3-бутандіол і 2-бутанон у деяких сортах сиру, таких як сири голландського типу, кварк і сир. Метаболізм цитратів має особливе значення в сирах голландського типу, де вироблений CO_2 відповідає за формування очей. 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 має важливий вплив на смак і текстуру сиру. Ліпази в сирі отримують із молока, сичужного ферменту, закваски, допоміжної закваски, незакваскових бактерій та екзогенних ферментів. З усіх ліпаз ліпопротеїнова ліпаза має важливе значення для формування смаку сиру з сирого молока, але вона мало впливає на смак сиру, виготовленого з пастеризованого молока. Ліполітичні ферменти, присутні в LAB, можуть гідролізувати субстрат з утворенням вільних ефірів жирних кислот, триацилгліцеридів, діацилгліцеридів і моноацилгліцеридів. LAB-естераза активна для $< \text{C } 18$ -моноацилгліцеридів, з особливо високою чутливістю до $\text{C } 8$ -моноацилгліцеридів, але не впливає на $> \text{C } 6$ -діацилгліцериди. Крім того, етилмасляна кислота утворюється шляхом

перенесення бутилу з тригліцеридів на етанол через трансферазу в клітинах LAB. Здатність PAB розкласти жир у 10–100 разів перевищує здатність LAB. У швейцарському сирі PAB відіграє ключову роль у перетворенні лактату в ацетат, створенні характерного смаку за допомогою вуглекислого газу та утворенні вільних кислот.

Утворення типового смаку сиру через ліполіз в основному відображається в наступному: складнофірні 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; це 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, ементаль, 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 оцтова кислота надає сирі різкий смак, але занадто велика кількість оцтової кислоти може надати сирі запах, схожий на оцет. Смак, створюваний жирними кислотами, змінюється відповідно до відмінностей у типах жирних кислот і їх вмісту в багатьох типах сиру. Масляна кислота є важливою смаковою сполукою в таких сирах, як романо та сир, тоді як основним характерним смаком швейцарського сиру є пропіонова кислота, вироблена PAB. Крім того, гексанова кислота відповідає за пітливий, гострий і згірклий 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 естерифікації 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, що утворюються в результаті ферментації лактози або метаболізму амінокислот під час бродіння. Естери в сирі утворюються в результаті реакції естерифікації 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 та смак аромату сиру під час процесу дозрівання сиру. Пептиди та вільні амінокислоти, які

розщеплюються з білка протеазою в сирі, є попередниками багатьох сирних смакових речовин. Молочні білки в основному включають казеїни (α -, β - і κ -казеїн), які втрачаються в сироватці, оскільки вони не розкладаються значно. 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 метаболізм у зрілому сирі відіграють важливу роль у розвитку смаку сиру. Під дією трансамінази, дезамінази, декарбоксилази та інших ферментів вільні амінокислоти в сирі перетворюються на серію летких і нелетких смакових речовин (наприклад, кетони, альдегіди, кислоти та спирти) за допомогою дезамінування, амінування та декарбоксилази. Концентрації метіоніну, лейцину та глютамінової кислоти зазвичай вважаються показниками ступеня гідролізу білка в сирі. Ферментативне видалення амінокінця амінокислот призводить до утворення смакових і ароматичних речовин, таких як 3-метилбутанол, метіонілпропіловий альдегід, сульфіді та ароматичні ефіри, які надають солодового, схожого на печену картоплю, гострий і квітковий запах відповідно. Концентрації амінокислот, особливо глютамінової кислоти та лізину, значно вищі в пармезані, ніж у гауді, чеддері чи емменталі. Стартер LAB (SLAB), NSLB та інші бактеріальні штами можуть продукувати ферменти, що метаболізують амінокислоти, які специфічно діють на амінокислоти з розгалуженим ланцюгом, ароматичні або сірковмісні амінокислоти.

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 з яких 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 декарбоксилуванням 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 це 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), яка відіграє важливу роль в аналізі харчових смакових речовин, широко використовується для виявлення летких і напівлетких зразків. Технологія ГХ-МС має певні переваги в процесі застосування. В даний час HS плюс SPME (HS-SPME) у поєднанні з ГХ-МС застосовується для аналізу смакових речовин сиру, білого вина, рисового вина, чаю пуер і пива. Було використано SPME–GC–MS для аналізу летючих компонентів чотирьох різних стадій зрілості м'якого іспанського сиру з козячого молока. Всього виявлено 46 летких ароматичних сполук, у тому числі 13 кислот, 9 складних ефірів, 4 кетони, 7 спиртів, 3 альдегіди, 7 ароматичних сполук та інші. Використовували ГХ–МС для визначення летких компонентів зрілого овечого сиру італійського Fiore Sardo PDO та виявили сполуки карбонової кислоти (68%), тоді як складні ефіри (14%), кетони (9%) та спирт (8%) Основною характеристикою є летючі сполуки. Використали також ГХ для виділення летких компонентів із процесу дозрівання сиру Реджаніто за різних комбінацій температури та часу та виділили 41 летку сполуку, включаючи кислоти, кетони, альдегіди, складні ефіри, спирти та вуглеводні.

На даний момент більше 600 сполук ідентифіковано як летючі компоненти їжі. Лише деякі з цих сполук мають значний вплив на сенсорний профіль смаку аналізованої їжі. Тільки ГХ-МС може аналізувати широкий спектр летких сполук. Однак він не може визначити смакові активні інгредієнти, які найбільше сприяють смаку їжі. Газова хроматографічна ольфактометрія (GC-O) є найбільш ефективною для виявлення та ідентифікації ароматичних компонентів; аналітичні методи, які можна використовувати з цією технікою, в основному включають метод часу і інтенсивності, аналіз чарівності та аналіз розведення екстракції аромату. У методі інтенсивності часу основні аромати харчових продуктів визначаються сенсорним оцінювачем, щоб описати специфічний смак летких компонентів, які вони відчують. Потім вони ранжують аромати

відповідно до інтенсивності запаху та ступеня, до якого вони сприяють смаку. Дослідження показали, що комбінація екстракції розчинником, SPME та GC–О може бути використана для ідентифікації ключових ароматичних сполук блакитно-зернистих зрілих сирів; ідентифіковані сполуки включають метилмеркаптан, 2(3)-метилмасляну кислоту (сир, різкий запах), 3-метилтіопропаналь, 2,3-бутандіон, диметилсульфід, масляну кислоту, 1-октен-3-ол (Z)- 4-гептенал, фенілацетальдегід, 2-етил-3,5-диметилпіразин та оцтова кислота.

8.9. Критичні контрольні точки сиру

Екстратверді сири мають дуже низький вміст води та жиру. Ключові компоненти їх виробництва включають молоко з низьким вмістом жиру, термофільні біологічно активні речовини, високу температуру бланшування, тривалий період замочування в солоній воді та тривале повільне дозрівання. Для пармезану молоко збирають двома порціями: спочатку молоко залишають на ніч (щоб жир піднявся на поверхню молока), а наступного ранку збивають, щоб видалити все масло. Масло, що залишилося, змішуємо зі свіжим молоком. Потім молоко ферментують у мідному сирнику. Цей процес схожий на процес виготовлення казахського сиру, з тією лише різницею, що цей сир ферментується в мішку з козячої шкіри, а не в мідному резервуарі. Далі, після їх утворення, згустки пармезану нагрівають приблизно до 52°C, і частину сироватки вичерпують як закваску для приготування сиру наступного дня; ця частина є важливою для отримання сертифікату сиру Парміджано-Реджано. Сир Чеддер, виготовлений із незбираного молока, містить 48% жиру та 39% води та ферментований термофільним *Streptococcus lactis*. Його виробляють при низькій температурі, і він повинен досягти певного рівня кислотності, перш ніж його згортають і пресують. Згустки розмелюють на різальному або різальному млині, після чого додають суху сіль. Сир Чеддер виробляється подібним до голландського сиру, з тією лише різницею, що згусток кілька разів перевертають,

складають і подрібнюють. Оскільки висока кислотність сиру Чеддер під час дозрівання пригнічує ріст маслянокислих бактерій, нітрати не додаються.

Вуглекислий газ, що виробляється пропіоновокислими бактеріями (РАВ), призводить до утворення дірок (також званих «очей») у твердих сирах, таких як швейцарський і емменталь. Під час виробництва цих сирів вирішальним є отримання досить еластичної сирної маси. Дозрівання швейцарського сиру включає повільне розкладання білка та ліпідів у згустку, що виробляє смакові речовини та сприяє зростанню РАВ, який ферментує лактати. Сировина та закваски, які використовуються для виробництва емменталю, відрізняються від тих, що використовуються для виробництва інших сирів: свіже молоко, яке використовується для виготовлення сиру емменталь, отримують від корів, яких годують лише травою та/або сіном, без інших кормів чи добавок. Крім того, його закваска складається з термофільних *Lactobacillus* і *Propionibacterium*. Однак деякі загальні обмеження використання цієї сировини включають утворення тріщин, невелику кількість дірок, рожеві плями та недостатній смак.

Напівтверді сири мають широкий діапазон смакових профілів і структур завдяки різноманітним використовуваним LAB та їхнім ефектам. Для сирів Caerphilly та Lancashire ріст штамів сприяє на етапі виробництва згустків: низька кислотність (рН 5,0–5,2) свіжого сиру утворює кислі згустки, які роблять сир розсипчастим. У таких сирах, як Едам і Гауда, частина сироватки виділяється під час змішування та замінюється водою, щоб обмежити утворення кислоти. Таким чином, вміст лактози в сирі знижується, його рН підвищується, і він розвиває тверду, але еластичну структуру. Однак Гауда виготовляється з використанням пастеризованого цільного молока, тоді як Едам виготовляється з використанням пастеризованої або частково пастеризованої пахти. Очищення та видалення сироватки виконуються одночасно під час процесу виробництва гауди, де частина сироватки видаляється та додається гаряча вода для очищення сиру. Нарешті, вміст вологи в сирі контролюється, а його кінцевий рН також контролюється шляхом вимивання лактози для зменшення виділення молочної

кислоти. Крім того, Гауда додатково пресується, щоб видалити сироватку та утворити закриту скоринку.

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, в тому числі рокфор і датський блакитний сир, виробляються з напівм'якої сирної маси з високим вмістом кислоти, що передбачає повільне утворення кислоти протягом тривалого періоду видалення сироватки. Згустки під час обробки не нагріваються, а сир не пресується механічно, як сири *pasta filata*. Типовий процес виробництва блакитного сиру включає проколювання сиру для аерації для сприяння росту *Penicillium roqueforti*, який утворює типові сині лінії. Камамбер – це типовий зрілий сир з пліснявою на поверхні, м'який і липкий. Традиційний камамбер виготовляється зі свіжого молока місцевих нормандських корів. Після формування основної форми сиру поверхню посипають сухою сіллю, а потім інокують *Penicillium albicans*. Сир Моцарелла – це напівтвердий свіжий сир із сімейства пасти філата. Його найбільш унікальна технологія обробки включає гаряче розтягування, яке надає сиру характерну текстуру. Моцарела потребує швидкого утворення кислоти, але висока кислотність також може призвести до виробництва сиру низької якості. Сири високої жирності – це кислі сирки. Для цих сирів сироватка традиційно зливається шляхом підвішування згустків у мішках – подібно до традиційного казахського виробництва сиру. Сир фета виготовляється з овечого або козячого молока, яке має високий вміст коротколанцюгових жирних кислот, що створює характерний кислий смак. Однак властива цьому молоку ліпаза руйнується під час процесу термічної обробки, і це компенсується додаванням

ліпази на наступних етапах, щоб забезпечити унікальний кислий смак коротколанцюгових жирних кислот, утворених шляхом гідролізу.

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 сирі, 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 сирі. 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 сирі, хоча різноманітна дріжджова мікробіота, що населяє сир, відіграє значну роль у контролі якості сиру.

Екосистема сиру – це особливе середовище існування, яке підтримує співіснування дріжджів, бактерій і нитчастих грибів. Початкові домінуючі дріжджі стійкі до кислоти та солі; вони можуть метаболізувати лактат, що виробляється SLAB, і виробляти NH_3 з амінокислот. Дріжджі в сирі походять не тільки з молока, але й із середовища обробки та процесу зберігання під час процесу бродіння сиру. Дріжджі, які існують у середовищі сирого молока та молочних продуктів, можуть легко осідати на поверхні нового сиру та

утворювати складну біоплівку разом з іншими мікроорганізмами. Це явище зазвичай спостерігається у традиційних зрілих сирах. Численні види дріжджів були виділені з поверхні різних сирів; однак роль, яку вони відіграють у дозріванні сиру, залишається недостатньо вивченою. *Yarrowia lipolytica*, *D. hansenii*, *Kluyveromyces lactis* і *Kluyveromyces marxianus* були в основному виділені з поверхні та серцевини французького кустарного сиру. Було зібрано близько 137 різних сирів із 10 країн, і було виявлено, що 24 культивовані бактерії та гриби широко поширені на поверхні сиру за допомогою метагеномного секвенування та ізоляції штамів. Комерційні дріжджові культури, такі як *G. candidum*, використовуються у виробництві сиру протягом багатьох років. Використання дріжджів як додаткової культури також стало популярним в останні роки. У німецьких Harzer і quark додавання високоактивних дріжджів (*D. hansenii* і *Candida krusei*) може сприяти дозріванню. Однак більшість дріжджів, які містяться в сирі, суто анаеробні; ці дріжджі включають *K. marxianus*, який метаболізує залишкову лактозу.

Дослідження різноманітності 44 типів сирних грибів показало, що *D. hansenii* є найпоширенішими дріжджами та *Penicillium spp.* у рокфорті був найпоширенішою цвіллю (особливо в блакитному сирі); крім того, більшість грибів було виділено з молочних продуктів. Однак потенційні проблеми безпеки, пов'язані зі споживанням грибів, таких як *Aspergillus flavus*, також вимагають уваги. Дев'ятнадцять нитчастих грибів і п'ять штамів дріжджів ідентифіковано як частину традиційного турецького бродіння сиру; зокрема *Penicillium spp.* та *D. hansenii*. Крім того, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus* та деякі дріжджі були виявлені в сирі PDO Ragusano; ці мікроби відіграють важливу роль у формуванні смаку. З точки зору грибів, словацький сир в основному містить *Hansenula debali*, *Y. lipolytica* та *G. candidum*, тоді як сир Livarot в основному містить *Y. lipolytica*, *Candida spp.*, *Candida intermedia* та *Geotrichum* (як виявлено за допомогою флуоресцентної гібридизації *in situ*). *Pichia kudriavzevii* є переважаючими дріжджами в казахському сирі, за ними йдуть *K. marxianus* і *K. lactis*. З камамбера та брі було виділено широкий спектр дріжджів,

причому *D. hansenii* та *Y. lipolytica* є найпоширенішими ізольованими видами. Основні метаболічні кінцеві продукти бродіння лактози та галактози дріжджами, виділеними з сиру моцарелла водяного буйвола, демонструють велику варіабельність залежно від виду. Загалом, *K. marxianus* і *K. lactis* з їх анаморфними видами *D. hansenii* і *Saccharomyces cerevisiae* є найпоширенішими дріжджами в сирі, але їхня роль у процесі дозрівання сиру не була повністю 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 LAB зазвичай присутня в свіжому молоці та незрілому сирі, а деякі з LAB мають більш активні ферменти, що перетворюють амінокислоти; це збільшило смакову різноманітність і насиченість сиру. *Penicillium brevicompactum*, *Penicillium cavernicola* та *Penicillium olsonii* мають вищу активність протеази в ручному сирі з козячого молока, де Мисор 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 дозрілих сирів, таких як Грюйер, Тільзіт і Реблошон. Деякі ферментаційні дріжджі можуть рости всередині кислих сирних 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 здування, 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 умови зберігання. Дріжджі, які ростуть на поверхні сиру,

повинні мати можливість рости при низькому рН, низькій температурі, низькій активності води та високій концентрації солі. Наприклад, використовуючи метагеноміку, було виявлено зміни в мікробних спільнотах та їхніх функціях під час дозрівання сиру за температури: посилений мікробний протеоліз, ліполіз, експресія генів, пов'язана з катаболізмом амінокислот і ліпідів, і швидкість дозрівання сиру. Різні смаки сиру виробляються відповідно до відмінностей умов бродіння та заквасок, які в основному містять бактеріальні та дріжджові закваски. Грибкові закваски, такі як ті, що містять *Pe. albicans* і *Pe. roqueforti*, може мати протеолітичну та ліполітичну активність. Крім того, *Pe. albicans* утворює білі гіфи, тоді як *Pe. roqueforti* прискорює дозрівання сиру і надає пряний смак і темно-зелений колір. В останні роки дріжджі також використовувалися як допоміжні штами в заквасках для виробництва сиру; наприклад, *Candida lipotica* використовується для виробництва блакитного сиру. Як допоміжні культури, види дріжджів сприяють розвитку смаку та текстури під час виробництва та дозрівання певних типів сиру. Це пов'язано з тим, що їх ліполітична та протеолітична активність може скоротити час дозрівання і таким чином уможливити економічне виробництво сиру. У багатьох випадках найпоширеніші дріжджі в пліснявому та бактеріальному поверхневому дозрілому сирі включають *Kluyveromyces*, *Debaryomyces* та інші види *Saccharomyces*. Дослідження виявили наявність *Candida spp.*, *Candida zeylanoides* і молочних дріжджів у французькому сирі Reblochon; дріжджі *D. hansenii* та *K. marxianus* у сирі St. Nectaire і *Y. lipolytic*, *K. marxianus* і *D. hansenii* в сирі Тільзітер.

Більшість дріжджів, виділених з поверхні зрілих сирів, стійкі до солі, з яких *D. hansenii* може переносити високі рівні хлориду натрію та використовувати лактозу, молочну та лимонну кислоти для свого розмноження. Дріжджі використовують залишковий лактат для знекислення поверхні сиру та виробництва вітамінів і речовин-попередників, у тому числі ніацину, рибофлавіну та п-амінобензойної кислоти, і таким чином сприяють росту *B. linens* на поверхні сиру. *Debaromyces hansenii* та *Y. lipolytica* використовуються

для прискорення дозрівання сиру чеддер та покращення його смакових характеристик, тоді як *Y. lipolytica* та *K. lactis* використовуються для прискорення дозрівання блакитного сиру. *Kluveromyces lactis* і *K. marxianus* є важливими компонентами сирної мікробіоти, оскільки вони можуть використовувати лактозу, що залишилася від бродіння в сирній масі, для виробництва вуглекислого газу; це корисно для виробництва сирів з відкритою структурою, таких як Рокфор. *Kluveromyces marxianus* може виробляти леткі ароматичні сполуки через протеолітичну та ліполітичну активність у сирах із синьою шкіркою та сиром, а також виробляти ефіри (сполуки з фруктовим смаком) та ацетальдегід з етанолу та карбонових кислот, що утворюються під час бродіння лактози. Дослідження показали, що *Pi. kudriavzevii* NX має найсильнішу позаклітинну протеолітичну активність у агарі зі знежиреним молоком і що він виробляє ряд ароматичних сполук (включаючи етанол, етилацетат, 3-метилбутанол та оцтову кислоту) у казахському сирі. Дослідження також виявили, що текстура сиру з дріжджами, включаючи *K. marxianus* і *Pi. kudriavzevii* є відносно більш крихким. *Kluveromyces marxianus* сприяє утворенню вільних амінокислот і органічних кислот, особливо глютамату і лактату. Крім того, *K. marxianus* забезпечує сир з цибульним, масляним і квітковим ароматами. Крім того, *Pi. kudriavzevii* сприяє міцному коньячному, трав'янистому і цибульному аромату. Як *K. lactis* так і *Pichia fermentans* можуть зброджувати та становити типову дріжджову мікробіоту фети. Крім того, *Y. lipolytica* і *G. Candidum* мають важливий вплив на його смак під час виробництва та дозрівання сиру.

Штами *Geotrichum candidum* можна знайти всередині та на поверхні сиру; вони швидко ростуть на ранніх стадіях дозрівання сиру в сирах Лімбургер, Тільзіт і Романо. Однак вони можуть метаболізувати галактозу, але не лактозу. Навпаки, *D. hansenii* одночасно метаболізує лактозу та лактат, обидва з яких присутні в сирі на ранніх стадіях дозрівання. Цікаво, що *Y. lipolytica* суто аеробний, і він метаболізує лактат. *Geotrichum candidum* є найактивнішим видом, який бере участь у розщепленні казеїну та жиру, що призводить до збільшення

виділення аміаку. Недавні дослідження показали, що *D. hansenii*, *G. candidum* і *Y. lipolytica* можуть виробляти леткі сполуки, які сприяють смаку сиру, такі як альдегіди з розгалуженим ланцюгом і спирти. *Yarrowia lipolytica* міститься в продуктах з високим вмістом білка або жиру через його сильну ліполітичну та протеолітичну активність. Під час дозрівання сиру *Y. lipolytica* утворює велику кількість летких сполук, таких як органічні кислоти, сульфіді, фурани та коротколанцюгові кетони. Співіснування *Y. lipolytica* з *G. candidum* може мати негативний вплив на утворення гіф. Крім того, *D. hansenii* та *Y. lipolytica* можуть домінувати в дріжджовій біоті стиглих сирів. У присутності інших дріжджів, таких як *Y. lipolytica* та *G. candidum*, популяція *D. hansenii* значно зменшується. Однак *D. hansenii* може пригнічувати ріст *K. lactis* і *G. candidum*. Нарешті, дріжджі, бактерії та цвіль у сирі можуть мати симбіотичний ефект, який сприяє розвитку смаку сиру, але складний механізм, що лежить в основі, потребує подальшого аналізу.

Традиційні ферментовані сири здебільшого ферментуються природним шляхом з використанням кількох мікробних штамів. Наукові проблеми, такі як незрозумілий механізм, що лежить в основі формування смакової речовини, і нестабільна якість смаку стали вузьким місцем для розробки стандартизованих процесів виробництва сиру, що суворо обмежує трансформацію ручного виробництва в промислову обробку. В останні роки дослідження виявили функціональні мікробні штами, які покращують смак сиру. Дослідження показало, що вміст етанолу, естерази та гліколь-ацилтрансферази є основними факторами, які обмежують синтез етилацетату у французькому камамбері. Результати показали, що додавання *L. lactis* CCFM 12 з високою естеразною активністю та активністю етанол-ацилтрансферази значно підвищило вміст етилацетату та фруктовий аромат. Було вивчено вплив додавання функціональних дріжджів *Y. lipolytica* та *K. lactis* на аромат блакитного сиру. Ці ефекти вивчали за допомогою моделі, що поєднує *Y. lipolytica*, *K. lactis* і *Pe. roqueforti* і результати показали, що низька інокулята *K. lactis* позитивно корелювала зі смаком сиру, особливо утворення кетонових сполук, коли

використовувався невеликий інокулят *Y. lipolytica* та *K. lactis*, смак блакитного сиру був посилений. Було інокульовано комбінацію *Y. lipolytica*, *S. cerevisiae* та *D. hansenii* у процес бродіння сиру для покращення смакових якостей сиру. Порівняно з контрольною групою *Y. lipolytica* продукував переважно сульфід, фуран та коротколанцюгові кетони, а *D. hansenii* значно підвищив вміст альдегідів з розгалуженим ланцюгом і спиртів. Тому важливо посилити формування смаку шляхом зміцнення цих корисних дріжджів під час процесу дозрівання сиру. У процесі дозрівання сиру важливу роль відіграють протеоліз, ліполіз і здатність дріжджів до розпаду лактози, а також засвоєння ними лактату та цитрату – усі вони тісно пов'язані з формуванням смаку сиру. Таким чином, те, як зберегти стабільність смаку традиційного сиру ручного виробництва за допомогою зміцнення функціональних дріжджів, дасть ідеї для подальших досліджень.

З розвитком науки і техніки використання різних традиційних методів може зменшитися. Таким чином, застосування та захист мікробних ресурсів, що використовуються в традиційних ферментованих продуктах харчування, таких як сир, є терміново необхідним. Тому оцінка впливу молочних продуктів на здоров'я людини шляхом використання мікробних ресурсів у традиційних кисломолочних продуктах є важливою. Мікробна популяція, що населяє сир, має сильну екологічну адаптивність; це також визначає структурне різноманіття мікробної спільноти та смаки різних сирів з різних країн. Регіональні та кліматичні відмінності та диверсифікація технологій обробки спричинили значні зміни у сирах у всьому світі з точки зору таких факторів, як зовнішній вигляд та смак. Метаболічний вплив дріжджів на дозрівання та якість сиру протягом тривалого часу недооцінювався, а метаболічні механізми дріжджів повільно з'ясовувалися в останні роки. Таким чином, вивчення зв'язку структури дріжджового співтовариства з формуванням дріжджової мікробіоти та смакових речовин у процесі бродіння сиру є ключем до виробництва сиру з бажаним смаком і стабільною якістю за допомогою стандартизованого процесу, що відповідає конкретному сиру. Таким чином, сир має потенціал стати молочним

продуктом, який споживатиметься у великих масштабах у майбутньому, і, отже, він має дуже широкі ринкові перспективи. У цьому огляді створено теоретичні основи для успіху та селекції функціональних штамів дріжджів, а також оптимізації технологій переробки сиру для покращення смаку та якості зброженого сиру.

1.12. Приклади сучасного інноваційного обладнання для виробництва сиру

Tetra Pak® Cheese Vat OST CH6 – це горизонтальний чан для виробництва сирної маси, особливо для чеддеру, пасти філата та подібних видів сиру.



Рис. 47. Горизонтальний чан для виробництва сирної маси Tetra Pak® Cheese Vat OST CH6 [50]

Ванна має всі необхідні функції для контрольованого та передбачуваного процесу, включаючи наповнення сирного молока, змішування інгредієнтів, коагуляцію молока, різання коагулюму, змішування, злив сироватки, додавання води, непряме нагрівання та охолодження, спорожнення та СІР (очищення на місці). Використання теплої води в кожусі з ямками для нагрівання продукту дозволяє оператору краще контролювати швидкість і температуру нагріву. Горизонтальна конструкція валу максимізує перше вивантаження сироватки та запобігає утворенню грудок після вивантаження сироватки. Він дає високонадійний, повторюваний результат, що робить цей пристрій ідеальним для великих виробників кількох подібних типів сиру, для яких ефективність є ключовою.

Інноваційний чан для сиру Tetra Pak® Cheese Vat Yieldmaster 2. Новий інноваційний чан для сиру, який поєднує в собі історично бажані функції та атрибути в чан, який може забезпечити найвищу якість та економічні показники з тривалою механічною цілісністю та довговічністю.



Рис. 48. Новий інноваційний чан для сиру Tetra Pak® Cheese Vat Yieldmaster 2 [51]

Tetra Pak® Cheese Vat Yieldmaster 2 підходить для виробництва широкого асортименту сирів, включаючи сири Чеддер, Моцарелла, Колбі, Мюнстер, Брік, Джек, Проволоне, Пармезан, Романо, Швейцарський, з низьким вмістом жиру та без жиру. Розроблений, щоб забезпечити чудову якість виготовлення сиру та економічні показники з механічною цілісністю, особливу увагу було приділено вирішенню проблем утримання жиру в сирі, утворення дрібних частинок, легкості промивання, санітарії, загальної довговічності, початкових капіталовкладень та поточних витрат на технічне обслуговування.

Особливості:

- ✓ має найвищу продуктивність серед будь-яких чанів для сиру на ринку (38 555 кг);
- ✓ довговічний, заснований на десятиліттях інженерного досвіду.

Tetra Pak Cheese Vat OO спеціально розроблений для виробництва високоякісної сирної маси та сироватки. Чан підходить для виробництва більшості типів сирів, починаючи від твердих сортів, таких як чеддер і емменталер, напівтвердих сортів, таких як гауда і тильзітер, до м'яких/свіжих сортів, таких як блакитний сир і фета, а також паста 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 тощо. Tetra Pak® Grainy Cheese Vat E4 має такі переваги:

- екструдовані з'єднання захищені від термічних тріщин, підвищуючи безпечність харчових продуктів і продовжуючи термін служби обладнання;
- гнучкість виробництва сиру, свіжого та м'якого сиру шляхом зміни параметрів обробки;

- зменшення втрат - завдяки обережному перемішуванню - і 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 та 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 виготовленню 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. 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.
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. 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.
6. 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.

7. 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.
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-ЛТД», 2015. 330 с. <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 яловичина 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.)



Рис. 52. Рослинне молоко [55]

Соєве молоко. Соєве молоко було одним із перших замінників 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 різnorідна 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 здоров'я, 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 підвищують рівень тиреотропіну (гормону, що стимулює роботу щитовидної залози). Тому, якщо у вас є проблеми із щитовидною залозою або ви приймаєте ліки для щитовидної залози, варто обмежити споживання соєвих продуктів.

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 замінників 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 підійде людям, які шукають джерело білка. Але якщо у вашому 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 замітники молока.

Мигдалеве молоко. Мигдалеве молоко це напій, приготований з меленого мигдалю, часто використовується як замітник 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 додавати додаткові поживні речовини, щоб підвищити його поживну цінність і відтворити поживний склад молочного 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 замінників 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 молочним замінникам 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 характерні смаки та консистенцію. Наприклад, кокосове молоко має вершковий тропічний смак, тоді як мигдальне молоко має легкий горіховий смак. Консистенція рослинного молока також може відрізнятися, оскільки деякі сорти рідкіші або густіші, ніж коров'яче молоко. Порівняно з звичайним молоком, вони вважаються більш екологічними. Молочні корови повинні вирощуватися та утримуватися для виробництва молока, що може мати суттєвий негативний вплив на навколишнє середовище з точки зору викидів парникових газів, використання води та землекористування. Крім того, рослинне молоко може мати менший вплив на навколишнє середовище, що залежить від методів виробництва та джерела інгредієнтів. Люди, які дотримуються веганської або рослинної дієти, або ті, хто уникає продуктів тваринного походження через етичні чи екологічні міркування, часто вибирають рослинне молоко. з іншого боку, молочній сироватці можуть віддати перевагу люди, які цінують традиційний смак молока та харчові переваги та не мають дієтичних обмежень.

Це улюблений варіант для веганів, людей з непереносимістю лактози або інших, хто віддає перевагу безмолочній альтернативі молоку.

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, як молочне, 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 доставки 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 та продуктів. Удосконалення наших продовольчих систем допоможе нам 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 рослинні 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 жирів 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, ніж продукти тваринного походження. Засвоюваність рослинних білків також нижча, ніж тваринних. Крім того, рослинні замінники містять антинутрієнти, 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 заміників 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. Харчову 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 гарантувати високий рівень мікробної та ферментативної безпеки продукту. Передові технології, такі як ультразвук високої інтенсивності, високий тиск, мікрохвилі, імпульсне електричне поле, омічний 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, така як ферментація, пророщування, хелатоутворювачі та екзогенна фітаза, або теплова обробка можуть зменшити їх ефект.

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 новим популярним варіантом для рослинного молока, оскільки він не викликає алергії, як соєвий і пшеничний. У рисовому та кокосовому молоці не так багато поживних речовин, як у звичайному коров'ячому молоці. Але вони є хорошою альтернативою молоку для людей з алергією на сою або мигдаль, які є звичайними інгредієнтами в іншому рослинному молоці. Хоча рисове та кокосове молоко не настільки багаті поживними речовинами, як молочне молоко, рисове та кокосове молоко є зручними варіантами для алергіків. Однак додаткові дослідження щодо збільшення їх поживних речовин і покращення смаку та текстури за допомогою кращих методів обробки допоможуть споживачам з алергією. Білок багатьох вегетаріанських і веганських продуктів значною мірою залежить від сої. Тому важливо ретельно стежити за тим, щоб отримати з раціону достатню кількість білка, вітамінів і мінералів. Бобові, такі як горох, сочевиця, квасоля та арахіс, іноді можуть викликати алергічні реакції, від легких до важких, що загрожують життю. Арахіс і соя є найвідомішими алергіями на бобові, але нут, квасоля мунг, горошок і чорний грам також можуть викликати алергічні реакції у деяких людей. Вчені розуміють несприятливі харчові реакції на конкретні продукти, які потенційно можуть викликати алергічні реакції або реакції непереносимості. За потреби уникаючи споживання їжі, що провокує їх, забезпечуючи належне харчування та підвищуючи обізнаність про харчову алергію/непереносимість, постраждалі можуть краще керувати своїми симптомами та загальним станом здоров'я.

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.

У наш час використання зернових, олійних культур і горіхів для створення рослинних замінників молока стало більш поширеним через їх схожість з молочним молоком і низький вміст лактози та холестерину. На відміну від тваринного молока, рослинне молоко має труднощі з його кінетичною стабільністю, харчовим складом і органолептичними властивостями. Важко щось повністю замінити, оскільки споживач повинен знати про користь для здоров'я. Замінники молока на рослинній основі виділяються як практичні можливості для людей, які шукають варіанти без лактози та холестерину, оскільки зростає попит на функціональну та поживну дієту.

Напої рослинного походження є більш збалансованим і концентрованим джерелом енергії, ніж молоко тваринного походження. Наприклад, рисові напої багаті вуглеводами, а кокосове молоко має високий рівень насичених жирів. Низькі рівні моно- та поліненасичених жирних кислот спостерігаються в соєвих та мигдальних напоях. Інші молочні напої рослинного походження мають низький вміст холестерину та вуглеводів, за винятком напоїв на основі рису. Напої рослинного походження мають нижчу концентрацію мінералів (30–50 %), ніж молоко тваринного походження, тому необхідне збагачення, щоб збалансувати харчову цінність. Тваринне молоко має більшу концентрацію мінеральних речовин, у тому числі кальцію, фосфору, магнію та натрію. Було виявлено, що в той час як горіхові напої мають рівень солі, подібний до тваринного молока, соєві та кокосові напої мають кращий доступ іонів магнію, заліза та міді. Крім того, молоко рослинного походження менш імовірно забруднене важкими металами, такими як свинець, ртуть, кадмій і миш'як, що

робить його безпечнішим вибором їжі. Якість рослинного білка молока можна покращити за допомогою рослинних сумішей, навіть якщо тваринні білки мають високу різноманітність амінокислот і добре засвоюються. Незважаючи на високий вміст антипоживних речовин, напої на основі сої пропонують чудове поєднання мікро- та макроелементів.

Арабіноза – моносахарид із групи альдопентоз – альдоз, у молекулах яких п'ять атомів Карбону.

Вівсяне молоко набуло популярності завдяки високому вмісту β -глюкану, який є розчинною клітковиною з нутрицевтичними якостями, що збільшує час проходження шлунково-кишкового тракту, затримує спорожнення шлунку та покращує в'язкість розчину. Висока кількість альфа-токоферолу, потужного антиоксиданту та попередника вітаміну Е, у мигдальному молоці виправдовує його використання. Також в мигдалі містяться кальцій, магній, селен, мідь, калій і цинк. Високий рівень арабінози в пектинових сполуках клітинної стінки мигдалю знижує рівень холестерину в крові.

9.4. Інноваційні технології обробки молока рослинного походження

Мікрохвильовий нагрів. Було досліджено як нагрівати соєве молоко в мікрохвильовій печі при різних температурах (70 °C, 85 °C і 100 °C) протягом 2, 5 і 8 хвилин на частоті 2,45 ГГц порівняно з традиційним нагріванням. Вони виявили, що мікрохвильова піч не покращує засвоюваність білка настільки (82–89 %), як традиційні методи (84–92 %), але інактивує більше інгібіторів трипсину (3–18 % проти 1–9 %).

Мікроорганізми та ферменти відіграють ключову роль у безпечності та якості харчових продуктів. Мікрохвильова (MW) і комбінована мікрохвильова ультразвукова (MW-US) обробка значно знизило кількість мікробів у соєвому молоці з $6,42 \cdot 10^6$ КУО/мл у свіжому соєвому молоці до 670 ± 12 КУО/мл і 55 ± 4 КУО/мл відповідно. Цей метод не тільки забезпечує мікробіологічну безпеку, але й ефективно пригнічує активність ферментів, що розкладають традиційні теплові

процеси, зберігаючи поживні та фізико-хімічні якості краще, ніж стандартна термічна обробка, що є критичним для комерційної життєздатності продукту.

Екстракція за допомогою мікрохвиль перевершує впорскування парою в соєве молоко, прискорюючи виробництво білка, загальну кількість твердих речовин і розчинність. Вона руйнує рослинні клітини, вивільняючи білки, ліпіди та розчинні тверді речовини, усуває антипоживні речовини, покращує запах за допомогою процесів Майяра та інгібує окислювальні ферменти, що покращує поживну якість, сенсорну привабливість та термін зберігання.

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, також відомий як Джоулев нагрів, це метод електричного нагрівання, який використовується в харчовій промисловості, особливо ефективний для рідких і напівтвердих рослинних матриць, таких як фруктові та овочеві соки, пюре та рослинне молоко. 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 омічного нагрівання зростає у військових і космічних місіях 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 продовжити термін придатності та є кращим для нагрівання, оскільки швидко, але не надто сильно нагріває поверхню та може використовувати нижчі температури. Омічний 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, виробляючи 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 діоксигенацію 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 збалансує покращення смаку та збереження поживних речовин.

Мікрофлюїдізація. Після мікрофлюїдізації емульсія білка волоського горіха мала найменший розмір крапель і дуже рівномірний розподіл. Це сталося тому, що високий тиск і сильні сили зсуву під час мікрофлюїдізації розсіяли та

розділили великі молекули в емульсії. Результати показують, що використання мікрофлюїдизації для гомогенізації може розщепити білкові згустки та зробити краплі меншими, роблячи емульсію більш стабільною. Конкретні температури денатурації без гомогенізації, з традиційною гомогенізацією та з мікрофлюїдизацією були виміряні приблизно на рівні 135,65 °C, 144,52 °C і 154,87 °C відповідно. Ентальпії були виміряні як приблизно 89,48 Дж·г⁻¹, 102,1 Дж·г⁻¹ і 111,76 Дж·г⁻¹ для негомогенізованого, традиційного гомогенізованого та мікрофлюїдизованого продукту відповідно. Це показує, що мікрофлюїдизований має вищі температури денатурації та ентальпії, що вказує на кращу термічну стабільність, ніж звичайні методи. Поліпшення термічної стабільності відбувається завдяки змінам гідрофобності поверхні, викликаним розтягуванням білкових молекул під час мікрофлюїдизації. Білки, які спочатку були гідрофільними, зазнали більшої денатурації та агрегації, що вплинуло на їхню взаємодію з водою. Це обмежувало набухання і сприяло підвищенню термічної стабільності білка волоського горіха.

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 мікрофлюїдизації 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 підходом.

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 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 обробки під високим тиском і необробленого рослинного молока істотно не відрізнялися від необробленого.

Обробка молока рослинного походження під високим тиском (HPP) використовується в комерційних цілях принаймні в одній області, але результати валідації не були надані, що ускладнює доступ до цієї інформації для інших. Обробка незбираного молока подвійним тиском при 600 МПа протягом 1,5 хв або 2,5 хв кожна призвела до зниження більш ніж на 5,0 log КУО/мл загальної кількості бактерій і 2,0 log КУО/мл у *Enterobacteriaceae*, подібно до одноразової обробки тривалістю 5 хв при 600 Мпа. Для знежиреного молока, обробленого в тих самих умовах, обробка подвійним тиском ($2 \times 1,5$ хв) при 600 Мпа зменшила загальну кількість бактерій на 4 log КУО/мл і *Enterobacteriaceae* на 3,6 log КУО/мл. Використання двох циклів по 2,5 хвилини замість одного ще більше зменшило кількість бактерій, показуючи, що використання подвійного циклу тиску є кращим. Подвійний цикл із високим тиском також може бути кращим для позбавлення від спор бактерій, змушуючи їх рости перед їх знищенням. У

порівнянні зі звичайною пастеризацією (нагрівання до 62,5 °C протягом 30 хвилин) обробка під високим тиском (при 425 Мпа протягом чотирьох циклів по 6 хвилин кожен) добре справляється з видаленням бактерій і спор у жіночому молоці, зменшуючи їх до 5 log КУО/мл, частково через те, що перші два цикли змусили спори почати рости перед їх знищенням. Дослідження порівнювало, наскільки добре біоактивні частини залишаються в жіночому молоці після обробки під високим тиском (HPP) і регулярної пастеризації. Виявлено, що HPP, проведений при 450 Мпа протягом 15 хвилин при кімнатній температурі, зберігає на 50% більше лептину, але знижує адипонектин на 30%. Використання меншої кількості тепла допомогло зберегти більше корисних речовин у молоці.

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 показують, що PEF (Pulsed electric fields) допомагає зберегти важливі вітаміни, антиоксиданти та білки, які зазвичай пошкоджуються або втрачаються під час регулярної пастеризації. Ці переваги свідчать про те, що PEF може бути кращою альтернативою термічній пастеризації для приготування високоякісного, багатого поживними речовинами рослинного молока з чудовим смаком. Обробка імпульсним електричним полем не призвела до будь-яких небажаних присмаків або значних змін аромату в соєвому молоці; скоріше, лікування продовжувало бути ефективним у запобіганні загрозам якості, таким як ферменти, алергени та антихарчові фактори.

Високоінтенсивний ультразвук. Було досліджено ультразвук для виготовлення рослинного молока на основі мигдалю з такими добавками, як модифікований крохмаль, лецитин і агар. Вони використовували ультразвук при 20 кГц і 300 Вт протягом 0 хв, 2,5 хв і 5 хв. Результати показали, що оброблені

ультразвуком зразки мали нижчі значення Брикса, ніж не оброблені ультразвуком.

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.

Це зниження значення Brix відбулося тому, що зразки, оброблені ультразвуком, мали менше модифікованого крохмалю, що робило їх менш в'язкими зі збільшенням часу обробки ультразвуком. Зменшення значення Брікса відбулося через те, що ультразвук руйнує клітинні стінки та полісахариди, такі як модифікований крохмаль, викликані силами ультразвукової кавітації. У своїх дослідженнях американські дослідники використали ультразвук для стабілізації екстракту мигдалю для виготовлення мигдального молока. Вони обробляли екстракт ультразвуком при 300 Вт протягом різної тривалості: 0 хв, 2,5 хв і 5 хв. Безперервна обробка при 20 кГц і 300 Вт протягом 4,9 хв зробила екстракт мигдалю фізично стабільним. Вони перевірили фізичну стабільність мигдального молока, вимірявши, скільки твердого матеріалу осіло з часом. Зменшення седиментації зі збільшенням тривалості обробки пояснюється тим, що інтенсивний ультразвук розбиває молекули пектину на більш дрібні частини, роблячи систему більш стабільною. У міру зменшення седиментації стабільність підвищувалася з 20 % через 0 хвилин до 90 % через 5 хвилин при обробці ультразвуком. Було також виявлено, що використання ультразвуку на різних рівнях потужності (200 Вт, 300 Вт і 400 Вт) і частоті 20 кГц, з номінальною потужністю 450 Вт, зменшило розмір частинок в арахісовому молоці. Показано, що більша потужність ультразвуку призвела до менших розмірів частинок порівняно з арахісовим молоком, яке не було оброблено ультразвуком. Дослідження показало, що не було великої зміни розміру частинок між необробленим арахісовим молоком ($0,29 \pm 0,05$ мкм) і арахісовим молоком, обробленим ультразвуком 200 Вт ($0,22 \pm 0,03$ мкм). Однак розмір частинок значно зменшився при обробці ультразвуком при 300 Вт ($0,21 \pm 0,02$ мкм) і 400

Вт (0,02 мкм). Ультразвук зменшує мікроби в соєвому молоці при температурі від 20 до 40 °С. Він також руйнує кишкову паличку та *L. monocytogenes* у мигдалевому молоці. Використання ультразвуку на арахісовому молоці забезпечує його зберігання довше, ніж необроблене молоко.

Ультразвуковий процес покращує рослинне молоко, зменшуючи розмір частинок (включно з частинками жиру), змінюючи електричний заряд частинок, змінюючи мікроструктуру та зменшуючи утворення осаду. Ці зміни роблять рослинне молоко більш фізично стабільним, покращують його функціональні властивості, покращують такі якості, як колір і густота, а також підвищують мікробну безпеку. Загалом, використання ультразвуку є корисною технікою для виробництва рослинного молока кращої якості з покращеними характеристиками.

Зростаючий ринок замінників молока рослинного походження викликав потребу в дослідженні інноваційних технологій обробки. Незважаючи на широкі дослідження ультразвуку як методу гомогенізації коров'ячого молока, його корисність для оптимізації якості та терміну зберігання немолочних замінників молока напролюд недостатньо вивчена. Враховуючи зростання споживчого попиту на ці продукти, дослідження здатності ультразвукової обробки покращувати стабільність текстури та органолептичні властивості рослинного молока є багатообіцяючим рубежем у дослідженнях харчових технологій.

Покращення терміну зберігання. Оскільки рослинне молоко містить багато поживних речовин і сприяє росту мікроорганізмів, його швидке зростання може погіршити його якість. Розігрівання їжі вже давно використовується для знищення шкідливих мікроорганізмів, завдяки чому їжа довше зберігається без псування. Занадто сильне нагрівання може завдати шкоди поживним речовинам, спричинити підрум'янення та створити смак приготування. Однак воно використовується для того, щоб рослинне молоко зберігалось довше, збільшувалося вміст сухої речовини та покращувався смак. Використовуються різні параметри часу та температури, щоб переконатися, що рослинне молоко залишається високоякісним і не пошкоджується. Багато вчених вивчали різні

способи нагрівання харчових продуктів, такі як пастеризація (нагрівання нижче 100 °C для знищення шкідливих мікробів), стерилізація в контейнері (використання 121 °C протягом 15–20 хвилин, щоб зробити їжу комерційно стерильною) і ультрависока температурна обробка (нагрівання при дуже високих температурах 135–150 °C протягом кількох секунд). При УНТ – Ultra-High Temperature – обробці для нагрівання використовуються або прямі методи, такі як впорскування пари та вливання пари, або непрямі методи з використанням пластинчастих або трубчастих теплообмінників. Гомогенізація в окремих випадках відбувається при дуже високих тисках (зазвичай від 100 до 600 МПа) без нагрівання. Цей процес створює такі фізичні ефекти, як сили зсуву, кавітація та турбулентність. Гомогенізація під надвисоким тиском (УНРН – Ultra-High-Pressure Homogenization) часто використовується для обробки рідких або колоїдних харчових продуктів, щоб зробити їх більш стабільними та покращити їхні фізичні та хімічні властивості, зберігаючи при цьому їх поживні властивості. Застосування УНРН при 300 МПа та 40 °C знищило більше мікробів у молоці тигрового горіха, ніж традиційні методи гомогенізації та пастеризації. Цей метод контролював різні види мікроорганізмів і збільшував термін придатності продукту приблизно з 25 до 57 днів. Соєве молоко, оброблене УНРН при 300 МПа, було протестоване та порівняно з традиційно обробленим УНТ соєвим молоком протягом 180 днів зберігання. Дослідники не виявили великих відмінностей у таких якостях, як товщина, бобовий, трав'янистий та окислений смак під час зберігання. Соєве молоко, оброблене УНТ, мало терпкий присмак у порівнянні з обробленим надвисоким тиском УНРН. Оброблене соєве молоко зберігалось 90 днів, і не відбувалось ніяких істотних змін в ньому до кінця терміну придатності.

Використання ферментів для екстракції є хорошим варіантом замість хімікатів. Він м'який, потребує менше енергії, покращує швидкість відновлення та використовує менше розчинника. Дві протеази із залишків насіння соняшнику помістили в сфери альгінату кальцію та додали до соєвого молока на годину при 30 °C. Це зробило продукт менш схожим на боби та більш приємним, і термін

його гідності був на 15 днів довшим, ніж необроблене соєве молоко (яке тривало 10 днів). Ймовірно, це пов'язано з антимікробними пептидами, які виділяються під час розпаду ферментів. Ферментацію багато вивчають для покращення поживності продуктів рослинного походження та покращення їх смаку, що багато споживачів бажають замінити молочному молоку. Ферментація мигдального молока з пробіотиками покращила його користь для здоров'я, допомагаючи макрофагам і збільшуючи засвоєння заліза. Використання *Lactobacillus reuteri* та *Streptococcus thermophilus* у ферментації зберегло пробіотики живими навіть після перетравлення, роблячи їх корисними протягом 28-денного терміну зберігання. Однак споживачі були лише помірно зацікавлені, тому існує потреба зробити його більш привабливим для них.

Мікрофлюїдизатор зазвичай використовується для зменшення складних волокон і білків. Однак нинішні невеликі мікрофлюїдизатори можуть обробляти лише відфільтровані речовини з дрібними частинками, такі як молоко та фруктові соки, оскільки вони мають обмежену продуктивність і простір для потоку. Щоб вирішити проблеми з невеликими мікрофлюїдизаторами, які створюють додаткові біологічні відходи, такі як окара під час виробництва соєвого молока, Було розроблено великі мікрофлюїдизатори для промислового використання. Їх використовували для виготовлення соєвого молока безпосередньо без замочування чи фільтрування.



Рис. 53. PTH-10 Microfluidizer Гомогенізатор [56]

Дослідження сухого соєвого молока, виготовленого за допомогою розпилювальної сушки, показує, що вища температура на вході та концентрація продукту призводять до зниження вмісту вологи, індексу водопоглинання та насипної щільності. Крім того, ці фактори підвищують здатність сухого соєвого молока змішуватися з водою та його здатність до пресування. Вони також впливають на такі важливі аспекти, як кількість порошку, отриманого в процесі, наскільки добре він розчиняється, наскільки легко він тече та наскільки добре він злипається. Завдяки меншій кількості вологи, але більшій розчинності та змочуваності, продукт довше зберігається на полиці та покращує якість його змішування назад у рідину.

Обробка під високим гідростатичним тиском – це техніка безпечності 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 використовується для інактивації мікроорганізмів, використовуючи частоту 20–100 кГц і інтенсивність потужності 10–100 Вт·см⁻². Основний механізм, через який відбувається інактивація мікроорганізмів, складається з різноманітних структурних і фізіологічних змін, таких як витончення клітинних мембран і утворення вільних радикалів.

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 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 омичний 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. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф. В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. – 340 с.
6. 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 : 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. 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.
9. 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.
10. 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.
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 здобула величезного технічного прогресу, щоб досягти запланованих обсягів виробництва шляхом перетворення сировини на готову продукцію. Інноваційні технології автоматизації були впроваджені для забезпечення високої якості та безпеки бажаного харчового продукту. Завдяки цьому технологія автоматизації обробки отримала великий потенціал для покращення безпеки, якості та прибутковості шляхом оптимізації параметрів процесу та контролю. Техніка автоматизації включає мультидисциплінарні технології, такі як робототехніка, штучний інтелект і декілька інших механічних, електричних, електронних пристроїв і комп'ютерів, як правило, у комбінації. Серед різноманітних застосувань автоматизації в молочній промисловості автоматичні доїльні системи та доїльні роботи мають особливе значення. Вона також є найбільш успішною і значущою у поточному управлінні та утриманні худоби. Однак існує широкий спектр застосувань для автоматизації в молочній промисловості для безперервної роботи без будь-яких відхилень і коригувань з бажаною консистенцією та формою відповідно до природи продукту, що неможливо зробити вручну.

Інновації в технологіях поступово зростають і знаходять своє застосування в різних промислових застосуваннях. Харчова та молочна промисловість відіграють значну роль у використанні цієї технології автоматизації для подолання різноманітних проблем і ризиків. Програмування системи автоматизації повністю залежить від типу промислової експлуатації. Примітно, що харчова промисловість входить до десятку галузей промисловості, де використовується автоматизація заводів. Кінцевою метою автоматизації є контроль за різними етапами обробки та усунення робочої сили, оскільки витрати на робочу силу становлять близько 50% загальних витрат на

виробництво. Також було зазначено, що вищий рівень робочої сили призводить до вищої частоти аварій на виробництві та нижчого рівня контролю якості, що означає високу ймовірність забруднення та зростання мікробів. Автоматизація має подолати ці проблеми, що призводить до підвищення продуктивності та зниження витрат на оплату праці, отже, сприяє значному впливу на прибутковість. Робота з молоком і молочними продуктами включає перекачування рідкого молока з одного місця в інше за допомогою насосів. Під час технологічних операцій, які включали роботу при дуже низьких температурах наприклад: приміщення для загартовування та для зберігання льоду при температурі нижче нуля, роботи були б хорошою альтернативою з повним контролем якості.

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 молочної роботи. Виконання процесу автоматизації в зоні обробки залежить від кількох ключових вимог для конкурентного успіху операції. Ця автоматизована операційна система надає так багато привілеїв, деякі з яких включають:

- зменшення ризику зараження;
- усунення робочу силу з трудомістких середовищ;
- гнучкість відповідно до розміру продукції та якості виробництва;
- зручність утримання дійної худоби на території ферми;
- можливість працевлаштування для професіоналів 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 трубопроводу, правильного регулювання кислотного 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 базувалося на досвідченій робочій силі для виконання різноманітних робіт, таких як доїння, годування, візуальна ідентифікація виявлення тічки *тощо*. Впровадження системи автоматизації для виконання цих процесів зменшує ручні витрати та запобігає втратам молочної худоби.

Виявлення тічки у молочної худоби. Виявлення тічки 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 квіткових рослин. За хімічною природою – стероїд. Попередником прогестерону є прегненолон, молекула якого містить ядро холестерину.

Поведінка, особливо виражена під час тічки, може бути записана за допомогою електронного пристрою, чутливого до тиску. У такому разі запускається передача радіохвиль (діапазон 0,4 км) і кілька інших активних дій. Автоматизована система моніторингу активності комерційно доступна протягом тривалого періоду. Ця система складається з тегів HR (міток Heat і Rumination) та ідентифікаційного трансивера. Цей тег HR визначає активність молочної породи, наприклад рівень її інтенсивності, характеристики жування, і зібрані

дані зберігаються протягом певного періоду часу. Дані надсилаються через інфрачервоний зв'язок на комп'ютер на фермі і обробляються за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Автоматизована система доїння. Gascoigne melotte (Ірландія) успішно розробила макет під назвою GM 2000, що складається з різних операцій на молочній фермі, таких як технологія автоматизованої системи доїння, годівлі на основі індивідуальної ідентифікації корів та системи реєстрації надоїв разом з програмою управління молочною фермою. Спочатку автоматизована система доїння була успішно впроваджена в Північно-Західній Європі. Зростаюча вартість землі та робочої сили призводить до зниження ціни на молоко, що змушує фермерів працювати надмірно. Після різноманітних досліджень щодо впровадження цієї системи на рівні ферми саме перша така система була комерційно реалізована в Нідерландах у 1992 році. До 1998 року рівень впровадження цієї системи був низьким, але понад 90% майже всіх молочних ферм перейняли цю технологію в Нідерландах після 2000 року, а потім ще багато країн, наприклад Данія, Німеччина та Франція впровадили визначені автоматичні системи. Одним із спеціальних модулів у такій системі є молочний зал, призначений для доїння з бажаним гігієнічним виробництвом молока, більш ефективним доїнням, зниженням ризику травмування та підвищенням ефективності праці.

Доїння є трудомістким процесом, який потребує кваліфікованої робочої сили і є джерелом мікробного забруднення та займає багато часу. Молочарня добре обладнана високоефективними машинними доїнням та механічними допоміжними засобами. Доїльний апарат складається з вакуумних насосів і вакуумної ємності, яка служить ємністю для збору молока. Подача вакууму – це негативний тиск, який відкриває соску. Молоко з вимені відбирається за допомогою негативного тиску і пульсації (50-60 циклів на хвилину).

Шведська компанія з виробництва молочного обладнання De Laval, та Австралія, представила перший у світі комерційний роботизований роторний доїльний апарат. Робот-роторне доїння використовує систему лазерного датчика

для пошуку сосків, а рука робота автоматично з'єднує чашки з сосками. Найдосконаліші «доїльні роботи» зробили значний технічний прогрес, який отримав гігієнічне виробництво молока та грошову вигоду. Така технологія була успішно запущена і реалізована на сьогоднішній день. Це система добровільного доїння, в якій доїння здійснюється за допомогою електронної мітки, яка дозволяє роботам ідентифікувати, очищати соски, приєднувати чашки для молока та починати процес доїння. Наразі доїння виконується на кожній фермі, воно від'єднується за допомогою роботизованих рук, і послідовність операцій відбувається протягом дня, оскільки вона вже запрограмована в базі даних. Інноваційна технологія має кілька переваг, включаючи економічні вигоди, збільшення частоти доїння та переваги в управлінні. Автоматичне доїння кіз і овець в наш час стає все більш поширеним. Пристрої, які найчастіше використовуються на козячій та овецькій фермі, це автоматичне вакуумне відключення, лічильник молока та індикатори потоку, електронна ідентифікація, програмне забезпечення для керування стадом, сортувальні ворота за допомогою цієї системи допомагають підвищити ефективність ферми та прийняття рішень щодо управління фермою.

10.3. Автоматизація в молочних промислових операціях

Обробка харчових продуктів включає різні операції, які також відрізняються від продукту до продукту. Усі ці робочі параметри повинні мати систему контролю для досягнення якісної продукції. Автоматизація на молочному заводі розглядається як універсальний інструмент для вирішення різноманітних важливих проблем. Автоматизація включає кілька інших технологій для ефективного виконання запрограмованих етапів обробки. Порівняно з харчовою промисловістю, молочна промисловість отримує сферу використання автоматизованих технологій, які можуть приймати сире молоко навалом без урахування біологічних змін у розмірі, формі та однорідності сировини.

Система машинного бачення. Це один із швидких і економних методів оцінки в харчовій промисловості. Ця техніка використовується в зоні обробки для безперервного моніторингу якості продукту, в якому всі параметри встановлюються відповідно до кінцевих вимог до продукту. Принцип роботи системи машинного/комп'ютерного зору полягає в тому, що система, оснащена камерою, фіксує зображення продукту та аналізує двовимірне зображення, потім обробляє зображення для вимірювання бажаних параметрів, згодом порівнюючи отримані виміряні параметри з попередньо визначені значення. Використовуючи отримані дані, вживаються коригувальні дії. Вся система виконується за допомогою системи аналізу зображень на основі програмованого логічного контролера. Перевага використання системи машинного зору в молочній промисловості полягає в тому, що ця система не перешкоджає нормальному робочому процесу та виконує роботу повністю автоматизованим способом. Технологія обробки зображень зараз широко використовується для раннього виявлення проблем зі здоров'ям у молочній худобі; це нелегко виявити, оскільки велика рогата худоба зазвичай живе групами, особливо у випадку маститу. Стратегії, задіяні в цій технології обробки зображень для виявлення проблем зі здоров'ям, добре пояснені в спеціальній літературі.

Автоматизація за допомогою робототехніки. На сьогоднішній день харчова промисловість підняла завіси для входження «робототехніки» в харчову промисловість у всьому світі. Промисловий робот – це автоматично керована, попередньо запрограмована комп'ютерна система, яку можна використовувати як у стаціонарному, так і в мобільному режимі. Більшість роботів використовуються та знайшли значне застосування наприкінці переробки харчових продуктів, таких як пакування, палетування. Роботи складаються з різних компонентів, включаючи маніпулятор, кінцевий ефектор, джерело живлення, програмування, систему керування, датчики, підсилювачі та виконавчі механізми. Кожен компонент має унікальну роль. Контролер у роботі координує всі механічні рухи системи. Привід, який перетворює потужність у рух робота, ініціюється набором інструкцій, і всі ці рухи зберігаються в пам'яті

контролера. Маніпулятор – це рука робота, яка запрограмована на виконання різних рухів для виконання корисної роботи. Кінцевими ефекторами є рука робота або інструменти на кінці руки. Джерело живлення забезпечує робот енергією, яка перетворює напругу змінного струму на напругу постійного струму, необхідну для внутрішніх схем робота, загалом усі дії чи рухи є записується та зберігається в пам'яті робота. Було на старті розроблено недорогого робота для харчової промисловості, який відповідав певним вимогам, таким як простота обслуговування, безпечна робота, висока швидкість роботи, легкість перепрограмування. Розроблений прототип програмувався через запрограмований логічний контролер. Було проведено дослідження для розробки роботизованої системи обробки їжі для м'якого морозива. М'яке морозиво – це вид морозива, що витягується безпосередньо з морозильника без затвердіння та здебільшого подається вручну. Пізніше була розроблена роботизована технологія, яка автоматизує доставку та значно впливає на економію матеріалів та експлуатаційні витрати. Порівняно з кількома іншими галузями харчова промисловість є висококонкурентною сферою, в якій розмір, форма, консистенція продукту приділяють значну увагу з точки зору споживача.

У сирній промисловості роботи запрограмовані на обробку величезної кількості змішаної сирної маси, перевертання, різання, перенесення сирних форм, що є трудомісткими процесами. Отже, усі ці дії розумно змінюються автоматизованими роботами. Автоматизація у виробництві сиру передбачає безперервний моніторинг процесу та постійний контроль процесу, що забезпечує максимально високу якість продукту. Tetra Damrow™ (США), одна з провідних компаній виробників харчової промисловості, розробила автоматичну механізовану систему для виготовлення різних видів сиру, таких як чеддер, емменталь, фета тощо, яка обробляє величезну кількість сиру та сироватки. Винахідники компанії Tetra Tebel® (Велика Британія) сконструювали безперервну машину у виробництві чеддеру з чотирма конвеєрами; кожен конвеєр має унікальну робочу роль, таку як самостійне перемішування для полегшення видалення сироватки, ефективного матування та плавлення,

подрібнення сирної маси та соління. Іншу механізовану систему для безперервного виготовлення сиру моцарелла виробляє компанія GEA (Німеччина), яка пропонує компактну автономну систему блоку для безперервного протирання та формування, яка зберігає послідовну м'яку обробку сиру з бажаною текстурою, смаком і консистенцією сиру. Ця система також забезпечує контроль діапазону дозування сухої та рідкої солі. Управління виробництвом сиру в цілому здійснювалося за допомогою комп'ютерної автоматизації та управління з дистанційною допомогою.

На лініях для випікання руки роботів використовуються для роботи з гарячими лотками, які, зрештою, стійкі до небезпечних операцій людини та захищають їх від промислових аварій. Іншим напрямком підходу до автоматизації є використання онлайн-датчиків, які відіграють значну роль у харчовій промисловості. Для широкого діапазону вимірювань якості харчових продуктів, сенсорних параметрів ці економічно ефективні інтелектуальні датчики та польові мережеві технології були впроваджені та успішно використовуються на сьогоднішній день. Багато харчових і молочних компаній успішно впровадили та отримали багато переваг, використовуючи промислових роботів для палетування, перевірки та контролю якості. Роботи з підтримкою зору можуть ідентифікувати масиви продуктів або стоси в рамках стандартної операції, поміщаючи готові товари або продукт в пакувальний матеріал таким чином, щоб завантажувати подачу потокової обгортки. Робота в холодильному складі на виробництві морозива (тобто-18°C) робочою силою призводить до несприятливих наслідків, наприклад, складування до верхньої частини в холодильній камері є дуже трудомістким і небезпечним. Компанія Autobag AB 145 (США) була представлена в листопаді 2005 року як напівавтоматична система пакування, яка забезпечує високу продуктивність і надійність пакування. Цей Autobag AB 145 здатний розфасовувати мішки зі швидкістю до 45 мішків за хвилину в напівавтоматичному режимі наповнення та запечаткування. KUKA KR 40PA_{tm} була випущена в 2005 році компанією KUKA Robotics Corporation. Ця роботизована рука виготовлена з композиту з

вуглецевого волокна, найлегшого матеріалу, який зрештою збільшує пропускну здатність.

Сенсорна мережева система. Зі збільшенням кількості систем бездротового зв'язку використання цих технологій у харчовій промисловості стало більш широким у різних аспектах. Найскладнішою частиною харчової промисловості є запобігання забрудненню в усьому ланцюзі постачання харчових продуктів для забезпечення безпеки харчових продуктів. Ця інтелектуальна сенсорна мережа широко використовується для пошуку відстежуваності. Майже кожна харчова промисловість почала використовувати PDA – Personal Digital Assistance, змінний мобільний пристрій, який використовується для пошуку відстеження та логістики. Було розроблено електронний датчик імпедансу для виявлення фальсифікацій у молоці A1 і A2. Ця електронна система імпедансу розроблена IC AD5933, яка є високоточним перетворювачем імпедансу з системами керування. Цей портативний сенсорний аналізатор має переваги перед методами хімічної лабораторії, у яких відсутній аналіз молока в режимі реального часу, а подальший аналіз молока є складним і неточним. Система бездротової сенсорної мережі стискає різноманітні сенсорні вузли, що дозволяє контролювати та записувати такі параметри обробки, як температура, відносна вологість, моніторинг сполук у харчовій промисловості. Однією з широко використовуваних технологій для реорганізації запасів, контролю запасів, перевірки інформації про поживну цінність упакованих харчових продуктів є технологія штрих-коду. Розвитком технології штрих-кодів є винахід системи штрих-кодів із температурним датчиком, що підтримується портативним сканером. Пізніше цю систему замінює радіочастотна ідентифікація, яка передбачає збір даних про харчові продукти в усьому ланцюжку постачання та є сприятливою для відстеження. Це важливий фактор в управлінні безпекою харчових продуктів, що дозволяє уникнути потенційних ризиків, пов'язаних із їжею, для захисту споживачів переглянувши аналітичну технологію процесів у харчовій промисловості, яка спочатку була запроваджена для фармацевтичної промисловості в 2004 році Управлінням з

контролю за продуктами й ліками США. Ця технологія використовує спектроскопічні датчики, які виявляють варіації процесу під час обробки харчових продуктів, також онлайн-виявлення хімічних варіацій, окислення та інших основних параметрів є сприятливим для контролю якості порівняно з автономним виявленням якості. тестування після обробки їжі, що є трудомістким процесом.

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 різні операції агрегату, і всі ці комбіновані процеси агрегату виконуються в контрольованих умовах процесу. Для здійснення безпечних і контрольованих операцій, які значною мірою сприяють «технологія управління процесом» і «технологія нечіткої логіки», комп'ютерна система управління процесом використовується протягом тривалого часу як важливий інструмент майже для більшості галузей промисловості. Системи автоматизації з комп'ютерним керуванням забезпечують точність і відтворюваність. Використання технології автоматизації призводить до меншого використання обладнання на молочному заводі. Система

керування – це набір механічних або електронних пристроїв, які регулюють інші пристрої чи системи за допомогою контурів керування. Для простих операцій контури керування є більш адаптованим для виробництва, тоді як складна система потребує вдосконаленої автоматизації для виконання процесу. Було представлено новий метод проектування та впровадження дискретної системи керування подіями. Попередня система – автоматизаційні мережі Петрі – не включає датчики та виконавчі механізми, а пізніше була проведена дослідницька робота з розширення системи автоматизаційні мережі Петрі за допомогою імпульсу та датчиків. Ці мережі Петрі найбільше підходять для багатопродуктової системи. Документація є одним із домінуючих контрольних списків, які необхідно підтримувати для запису всіх технологічних операцій, що виконуються під час виробництва продукту. За допомогою роботів вона може записувати всі операції та відновлювати щотижневі, місячні та річні записи. Цей вид дії є дуже ефективним у випадку виявлення першопричини. Система зворотного зв'язку датчиків надається системі керування, щоб сировина перевірялася точно порівняно з перевіркою контролю якості вручну, а також відповідала за коригування змінних у якості матеріалу, що використовується для серійної обробки.

Економічна оцінка технології автоматизації відіграє важливу роль у встановленні пов'язаного з цим процесу. Усунення вартості робочої сили не означає, що потрібні значні інвестиції в автоматизацію. Для ефективної роботи з переробки молочних продуктів слід оцінити загальну економічну вигоду. Вартість роботизованого доїння включає лише капітал, необхідний для встановлення технології. Ціни на цю технологію впали з 12 до 15%, тоді як вартість робочої сили з роками зросла на 12%. Подібне керування також можна здійснювати за допомогою повністю автоматизованої доїльної системи та поворотної кімнати з мінімальною автоматизацією. Капітальні витрати на повністю автоматизоване доїння та поворотний зал становили 295 000 доларів і 125 000 доларів США відповідно. Така висока вартість спочатку знижує рентабельність виробництва молока. Пізніше зниження вартості робочої сили

може компенсувати вищі інвестиції в систему доїння. Однак для ефективної роботи та отримання вищих переваг необхідне належне використання потужностей робота. Автоматичне доїння може доїти тричі на день, а також збільшує виробництво молока приблизно на 12%. Багато факторів впливають на збільшення виробництва молока, а саме вік дійних корів тощо. Ця технологія підвищує не тільки продуктивність, але й прибутковість у довгостроковій перспективі.

10.5. Проблеми, пов'язані з автоматизацією молочного виробництва

Незважаючи на те, що швидкий розвиток технологій призводить до впровадження різноманітних біосенсорів, комерційно доступних для моніторингу різних процесів у молочній промисловості, але в деяких випадках цю техніку автоматизації важко використовувати, наприклад, підготовка зразків для виявлення цільового патогена в харчовій матриці. Вартість більшості біосенсорів, які використовуються для моніторингу різних процесів у харчовому виробництві, є економічно недоцільною. Електричні пристрої, які використовуються в датчиках, не підходять для онлайн-моніторингу стерилізованих продуктів, таких як УНТ (Ultra-High Temperature Processing), стерилізоване ароматизоване молоко, оскільки воно складається з біологічних матеріалів. Молочна промисловість, яка є повністю автоматизованою, може забезпечити величезний простір для працевлаштування професіоналів, але призводить до менших можливостей для нетехнічної робочої сили. Незважаючи на те, що впровадження цієї технології є складним і дорогим процесом, воно має можливість створити революцію в різних аспектах молочної промисловості.

Харчова промисловість все ще відстає від інших галузей промисловості щодо впровадження технологій автоматизації через зміни консистенції та форми харчового продукту. Вибухове зростання комп'ютерного обладнання та програмного забезпечення проклало шлях для їхнього впливу на харчову та молочну промисловість для вирішення різноманітних завдань. Але на багатьох

молочних заводах корисність цієї сучасної технології залишається відсталою через її складність впровадження та адекватні знання та вимоги до кваліфікованих інженерів. Необхідно провести дослідження, щоб полегшити використання цих технологій в управлінні молочним господарством на рівні ферми. Молочна та харчова промисловість та університети відіграють не менш важливу роль у поширенні нових ідей, пов'язаних із передовими знаннями та їх кращим використанням. Продовольча стійкість зараз стикається з кількома безпрецедентними кризами одночасно, включаючи зміну клімату, спалах пандемій і політичну напруженість, серед іншого. Створення стійких продовольчих систем, заохочення інновацій і впровадження технологічних досягнень є надзвичайно важливими для вирішення цих викликів. Одним із харчових секторів, який дуже вразливий до зміни клімату та інших глобальних продовольчих проблем, але також відповідальний за значні викиди парникових газів, є молочна промисловість.

Молочні продукти вважаються важливим джерелом багатьох поживних і функціональних сполук. Критичні робочі умови для контролю процесу молочних продуктів були широко вивчені для забезпечення високої якості та безпеки цих швидкопсувних харчових продуктів. Однак виробники молочних продуктів завжди шукають стійкі технології обробки та інші нові технології, щоб запропонувати інноваційні рішення для цього динамічного харчового сектора. Суб'єкти молочної промисловості є одними з тих, хто швидко впроваджує нові технології та автоматизацію завдяки початку четвертої промислової революції (а саме Індустрії 4.0). Основними факторами індустрії 4.0 у харчовому секторі є штучний інтелект (AI), робототехніка, розумні датчики, 3D-друк, Інтернет речей (IoT), великі дані (BD), хмара, блокчейн, доповнена реальність, кібербезпека, цифрові технології. близнюки та кіберфізичні системи. Застосування цих технологій у сільському господарстві часто називають розумним землеробством, точним землеробством або сільським господарством 4.0, тоді як харчові фабрики, які використовують ці передові технології, часто називають «розумними фабриками».

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) – BD відноситься до надзвичайно великих і складних наборів даних, які неможливо проаналізувати або обробити традиційними методами. Big Data Analytics (BDA) – це процес використання передових аналітичних інструментів і методів для обробки цих масивних наборів даних. У

молочній промисловості BD/BDA можна застосовувати кількома способами, оскільки молочна промисловість генерує величезні обсяги даних. Програми стосуються виробництва молока, якості молока, управління фермою, моніторингу в режимі реального часу та прийняття рішень, здоров'я тварин і стійкості ланцюга поставок.

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 можна розглядати як один із факторів індустрії 4.0, який може задовольнити зростаючу потребу галузі у значно більш надійній та ефективній інфраструктурі управління ланцюгом поставок. Технологію блокчейн можна визначити як криптографічно захищені розподілені книги, де книги розподіляються в одноранговому форматі між об'єктами, що робить її децентралізованою системою. Існує потреба в децентралізованих рішеннях, таких як блокчейн, через єдині точки збою, невідповідності продукту, компроміси з якістю та втрату даних у звичайних ланцюгах постачання харчових продуктів. Запровадження блокчейну в ланцюжку постачання харчових продуктів, особливо в поєднанні з іншими технологіями, такими як IoT,

забезпечує взаємодію даних, зниження витрат, прозорість, можливість перевірки, цілісність і автентичність. Щоб захистити вразливі верстви населення, було запропоновано блокчейн-рішення, які виходять за рамки відстеження харчових продуктів і зберігають поживну цінність молочних.

10.6. 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, розміщені в робототехнічній системі, дозволяють збирати точні та реальні дані. Ці дані можна використовувати для прогнозування значення таких важливих параметрів, як добовий надій, склад молока та частота доїння. Наприклад, Було розроблен структуру машинного навчання, використовуючи дані роботизованої молочної ферми для прогнозування таких параметрів.

Важливим питанням для молочних фермерів щодо більш широкого впровадження роботизованих систем доїння є вплив, який ці системи можуть мати на кінцевий продукт. Досліджено склад і ферментативну активність у

молоці молочних ферм із традиційною та роботизованою системами доїння та виявили деякі відмінності, що свідчить про значний вплив системи управління. Наприклад, молоко з роботизованих систем доїння мало нижчий вміст білка, плазміну, плазміногену, загальної активності плазміну/ плазміногену, загального казеїну та фракції β -казеїну у відсотках від загального білка, тоді як воно мало вищу кількість соматичних клітин і загальний протеоліз. Іншим фактором, який аналізується в автоматичних роботизованих молокозаводах, є тепловий стрес, тобто вплив високої температури та вологості на добробут і продуктивність корів. Виявлено позитивну кореляцію між тепловим стресом і скороченням часу доїння та часу, проведеного в доїльному боксі, і загальним добробутом корів. Таким чином, продуктивність роботизованих доїльних систем можна легко покращити, просто забезпечивши тінь і воду для охолодження корів у спекотні місяці. Нарешті, роботизовані доїльні системи також полегшують роботу фермерів, зменшуючи їхній стрес і занепокоєння та підвищуючи їх стійкість.

Незважаючи на їхні переваги, розробка та впровадження таких роботизованих систем є складним завданням. Щоб сприяти більш широкому впровадженню роботизованих систем на молочних фермах, Було запропоновано в структуру для визначення питань, які розробники технологій і політики повинні враховувати при розгляді майбутніх інновацій для робототехніки на молочних фермах, таких як вплив на дизайн робочих місць, добробут і безпеку працівників, зміни в системах ведення сільського господарства, а також вплив ринку та регулювання. обмеження.

10.7. 3D друк

За останні кілька років 3D-друк продуктів на основі молока набирає популярності серед дослідників, а також виробників продуктів харчування. 3D-друк у молочному виробництві здійснюється в 5 тематичних сферах, тобто футуристичному, креативному, здоровому, ефективному та стійкому.

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.

Показано, що суміш сухої молочної пасти, приготовлена з концентрату молочного білка та ізоляту сироваткового білка (змішаних у певному співвідношенні), була найбільш бажаним матеріалом для 3D-друку на основі екструзії. Вони провели додаткові дослідження, щоб показати, що гель молочного білка мав найкращу продуктивність 3D-друку, який найкраще відповідав моделі та мав високу точність, а також досліджували вплив гідроколоїдів на мікроструктуру, в'язкопружні характеристики та продуктивність 3D-друку концентрату молочного білка.

Деякі дослідники створили гелеві матеріали на основі соєвого білка та глютену для 3D-друку, використовуючи термочутливе какао-масло, щоб вивчити його ймовірність для приготування м'ясних аналогів. Розроблено застосування емульсій Пікерінга на основі казеїну зі зниженим вмістом жиру в процесі 3D-друку для розробки функціональних харчових продуктів, розширюючи використання мікробіосурфактантів у друку харчових продуктів. Так само дуло представлено дизайн і характеристику суспензій казеїну і сироваткового білка, змішаних з молочним жиром, оброблених за допомогою рН-температурного шляху під час підготовки до 3D-друку. Деякі дослідники показали, що гелеутворення молочних білків, викликане сичужним ферментом, є потенційним методом формування надрукованих на 3D-принтерах харчових структур, тоді як інші досліджували можливості 3D-друку функціоналізованих йогуртів на хлібі та розробили йогурти з біоактивними інгредієнтами високої якості та цінності застосування, розробив метод швидкого визначення лактози в молоці за допомогою технології інтеграції біоактивного паперу та 3D-друку.

Розроблено техніку прямого написання чорнилом для 3D-друку молочних продуктів при кімнатній температурі шляхом зміни реологічних властивостей

друкарської фарби. З цією метою використовували плавлений сир як матеріал для друку як з низькою, так і з високою швидкістю екструзії.

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 BDA для точного прогнозування надоїв як на рівні окремої корови, так і на рівні групи. Це дослідження підкреслило важливість прийняття рішень на основі даних для дрібних виробників молока. Ще одне дослідження стосується застосування технології 5G+IoT, інтелектуального аналізу та аналітики BD, а також штучного інтелекту в інтелектуальному управлінні молочними пасовищами, зокрема для ідентифікації окремих корів і точного годування молочних корів. Використовуючи технологію розпізнавання зображень, дослідження показало, що цей підхід може ефективно підвищити економічні вигоди та ефективність виробництва тваринницької ферми. Нещодавно досліджували вплив теплового стресу на виробництво молока, використовуючи індекс температурної вологості (THI) як біомаркер теплового стресу, тобто підхід THI-BD. Дослідження показало, що тепловий стрес може призвести до зниження виробництва молока, і підкреслює необхідність стратегій пом'якшення наслідків для протидії тепловому стресу. Досліджено вплив відгону на продуктивність великої рогатої худоби. У дослідженні використовувалися великі молочні дані для розробки моделі, яка враховує екологічні, фізіологічні та

морфологічні фактори виробництва молока під час перегону. Показано, що застосування BD у переробці сухого молока може покращити якість продукції та зменшити кількість продуктів, що не відповідають специфікаціям. Відповідно, перехід до нового етапу бізнесу, важливість загального контексту ферми та використання даних за межами прийняття короткострокових рішень є важливими вимірами, які впливають на попит фермерів на додатки BD та на залучення до них для покращення прийняття рішень на фермі.

Інтеграція BD/BDA у молочне скотарство продемонструвала великий потенціал для покращення здоров'я та продуктивності тварин і, зрештою, 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 окремо. У цьому контексті запропоновано підхід до оцінки загального стану здоров'я молочних корів за допомогою BD із записів про молоко, включаючи надої 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 технологічна та екологічна. 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 події 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 запропонував 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 pH, 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. AI 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 все більш важливою для споживачів, але існує небагато інструментів, окрім передових лабораторій, а поточні механізми перевірки не в змозі адекватно обробити різні загрози цілісності харчових продуктів. Було запропоновано, що звукові вібрації, що проходять через харчові продукти, що використовуються в поєднанні з штучним інтелектом, виявляють фальсифікації та перевіряють якість. Було запропоновано процес оптимізації на основі штучного інтелекту для визначення сенсорних покращень харчових продуктів. Для визначення якості сиру під час процесу дозрівання використовувалися методи комп'ютерного зору та машинного навчання. Хвилі спеки, спричинені зміною клімату, викликають стрес у сільськогосподарських тварин. Була запропонована система на основі штучного інтелекту для підвищення або підтримки якості молока шляхом зменшення теплового стресу.

Існує також тиск щодо збільшення розміру стада при одночасному зниженні витрат на тваринництво та добробут, у яких методи штучного інтелекту можуть надати значну підтримку. ШІ можна використовувати для прогнозування виробництва та якості молока на основі методів комп'ютерного зору, які оцінюють частоту серцевих скорочень і частоту дихання корів. Штучний інтелект також застосовувався до аерофотознімків для оцінки викидів метану в молочних продуктах і розміру стада.

10.10. Блокчейн

Блокчейн можна використовувати для побудови інтелектуальних екосистем для ланцюгів постачання молока, щоб допомогти задовольнити попит на їжу зростаючого населення світу в стійкий спосіб.

Блокчейн від block – блок, chain – ланцюг, тобто ланцюжок блоків) – розподілена база даних, що зберігає впорядкований ланцюжок записів (так званих блоків), який постійно довшас.

Запропоновано рішення для відстеження на основі блокчейну для зниження впливу на навколишнє середовище та зниження вартості транзакції, застосованого до ланцюга постачання сиру Fontina. Досліджено суспільний вплив технології блокчейн для створення соціальної стійкості в ланцюжках постачання молока в Туреччині та виявив кілька переваг щодо запобігання шахрайства з харчовими продуктами, розвитку сільських районів, здоров'я та добробуту тварин на додаток до сприяння здоровій їжі та продовольчій безпеці .

Запропоновано блокчейн-рішення для управління продуктами ланцюга поставок молочної продукції, щоб забезпечити безпеку даних, захист документів сховища від злому, незмінність даних про хід транспортування, а також дозволити роздрібним продавцям і споживачам досліджувати учасників ланцюга постачання від ферми до споживач. Було зосереджено блокчейн-додаток на доказі відповідності нормативним вимогам як для державних органів, так і для вимогливих клієнтів. Запропоновано екосистему логістики молочної продукції з технологією блокчейн для забезпечення свіжими та безпечними молочними продуктами за справедливими цінами за допомогою розумних контактів із функцією краудфандингу.

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 ще кілька проблем, які галузь повинна подолати, щоб повною мірою використовувати переваги технологій Індустрії 4.0. Одна з головних проблем пов'язана з територіальним розташуванням: відсутність цифрової інфраструктури та зв'язку в багатьох сільських районах, де розташовані молочні ферми, заважає повноцінному поширенню технологій. Це може ускладнити для фермерів доступ і використання нових технологій для використання систем точного землеробства та автоматизованих систем доїння. Іншою проблемою є висока вартість впровадження нових технологій, особливо для молочних ферм розміром із МСП, які зазвичай характеризуються обмеженими фінансовими ресурсами. Це призведе до збільшення цифрового розриву між великими та меншими молочними фермами в усіх країнах, причому перші матимуть конкурентну перевагу завдяки більшій здатності інвестувати в нові технології.

Інше питання, яке впливає з аналізу, полягає в потребі кваліфікованих працівників, які працюють у галузі та впроваджують ці нові технології. Компанії, які хочуть впровадити ці технології, повинні мати кваліфіковані людські ресурси та надати необхідні інструменти та обладнання для їх навчання. Навіть у цьому випадку цей аспект може стати проблемою для невеликих ферм, які можуть не знайти кваліфікованих ресурсів, щоб найняти чи подбати про навчання працівників. Проблеми конфіденційності даних і кібербезпеки також є важливими для молочної промисловості. Зі збільшенням використання підключених пристроїв і аналітики даних у молочному виробництві існує ризик скомпрометації конфіденційних даних.

Нарешті, успішне впровадження технологій «Промисловості 4.0» також у молочної промисловості вимагає більшої співпраці та координації між зацікавленими сторонами ланцюга постачання, щоб забезпечити ефективну інтеграцію нових технологій у існуючі системи.

Підсумовуючи, хоча технологічний прогрес і цифровізація можуть бути дуже корисними для молочного бізнесу, все ще існує низка перешкод, які

необхідно подолати, щоб повністю реалізувати ці переваги. До них належать питання, пов'язані з цифровою інфраструктурою та підключенням, витрати на впровадження нових технологій, потреба у кваліфікованій робочій силі та потреба в тіснішій співпраці між учасниками ланцюжка поставок. Для того, щоб скористатися перевагами технологічних досягнень і переконатися, що молочний бізнес буде конкурентоспроможним і стійким у майбутньому, буде важливо вирішити ці труднощі.

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) перетворюють традиційний процес доїння, забезпечуючи підхід без рук, що вигідно молочним коровам і працівникам ферми. Впровадження AMS може призвести до більш високих надоїв завдяки можливості більш частих сеансів доїння. Це сприяє збільшенню обсягів виробництва молока та сприяє добробуту тварин, імітуючи більш природний ритм доїння. Працівники отримують переваги від зниження фізичного навантаження та можливості зосередитися на інших завданнях, підвищуючи загальну продуктивність ферми. Основні недоліки включають значні початкові інвестиції, необхідні для встановлення цих систем, і період адаптації, необхідний персоналу та тваринам для адаптації 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 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. Їхня 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» широко описує групу роботизованих механізмів. Ці різні типи роботів, як правило, мають однакові програми. Проте кожен тип має відмінності, які зазвичай призводять до

того, що його оптимізують для певних завдань порівняно з іншими роботами. Типи роботизованих рук включають: шарнірна рука; шестиосьовий; колаборативний робот; SCARA; декартовий; картезіанський; циліндричний; сферичний/полярний; паралель/дельта; антропоморфний.

Шарнірні манжети – це роботизовані манжети загального призначення з 5 або більше шарнірами або ступенями свободи. Шарнірна рука є загальним терміном для багатьох інших типів роботів. Наприклад, шестиосьовий робот – це шарнірна рука з шістьма ступенями свободи. Вони охоплюють найширший діапазон типів роботів, що використовуються в промисловості, і включають шестиосьові і колаборативні роботи. Оскільки вони настільки універсальні, має сенс знайти їх у більшості галузей промисловості у тому числі у молочному виробництві.

Шестиосьові роботи є найпоширенішою шарнірною рукою. Це також робить їх найпоширенішою роботизованою рукою, яка використовується сьогодні в промисловості. Завдяки своїй гнучкості вона є чудовою роботизованою рукою загального призначення. Шестиосьовий робот – найпростіший промисловий робот.

Колаборативний робот – це роботизована рука, спеціально створена для гібридної роботи. Це означає, що він розроблений для роботи поблизу людей. Деякі функції безпеки дозволяють значно знизити ризик у гібридних робочих середовищах. Це відносно новий тип роботи, і його використання все ще досліджується. Роботи для спільної роботи стають все більш помітними в галузі, оскільки все більше виробників отримують доступ до їхніх переваг. Майбутнє захоплююче для співпраці.

Роботи SCARA вибірково сумісні з роботом. Це означає, що вони не мають такої ж гнучкості, як шарнірні руки. Це обмежує їх у деяких аспектах, але дає їм певні переваги перед типами шарнірних рук.

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 у 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 розгорнуті 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 додатком для цього типу роботів.

Мобільні роботи революціонізують такі завдання, як розподіл складів, моніторинг здоров'я та прибирання об'єктів. Оснащені датчиками та навігаційними системами, вони можуть пересуватися по фермі автономно, виконуючи такі завдання, як відштовхування шлампу. Ця мобільність забезпечує постійну цілодобову роботу, підвищуючи продуктивність і ефективність роботи. Основним обмеженням мобільних роботів є їхня залежність від стабільного середовища без перешкод для ефективної навігації, що може вимагати модифікації існуючих макетів 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 надзвичайно унікальні для молочної промисловості та вимагають спеціальних рішень. Ці системи автоматизації адаптовані до програм, для яких вони призначені, і працюватимуть набагато краще для цих конкретних завдань, але не будуть застосовні до інших завдань, таких як складські операції чи операції з 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 підкреслює 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 спритність і гнучкість. Ці роботизовані руки дозволяють максимально використовувати робочий простір клітини та ідеально підходять для використання під час транспортування, догляду за машиною, складання, тестування, пакування, наповнення, різання, миття, видалення задирок, полірування тощо. Їх загальний контролер CS9 має додаткові функції безпеки SIL 3/PL e, що забезпечує високу продуктивність ТА співпрацю людини і машини.

Роботи TS2 SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arms) мають ті ж структурні сегменти, що й 6-осьові роботи TX2, пропонуючи ідентичний слід для високої модульності та оптимізованого часу розробки, а також той самий контролер CS9. Вони можуть виконувати точні та повторювані завдання, такі як завантаження/розвантаження, складання, пакування, палетування, підбір і

розміщення, обробка, сортування, укладання, розміщення тощо на дуже високих швидкостях.

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 спрацюють 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 кожній технологічній операції 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 першим 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, гнучкі рішення 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.

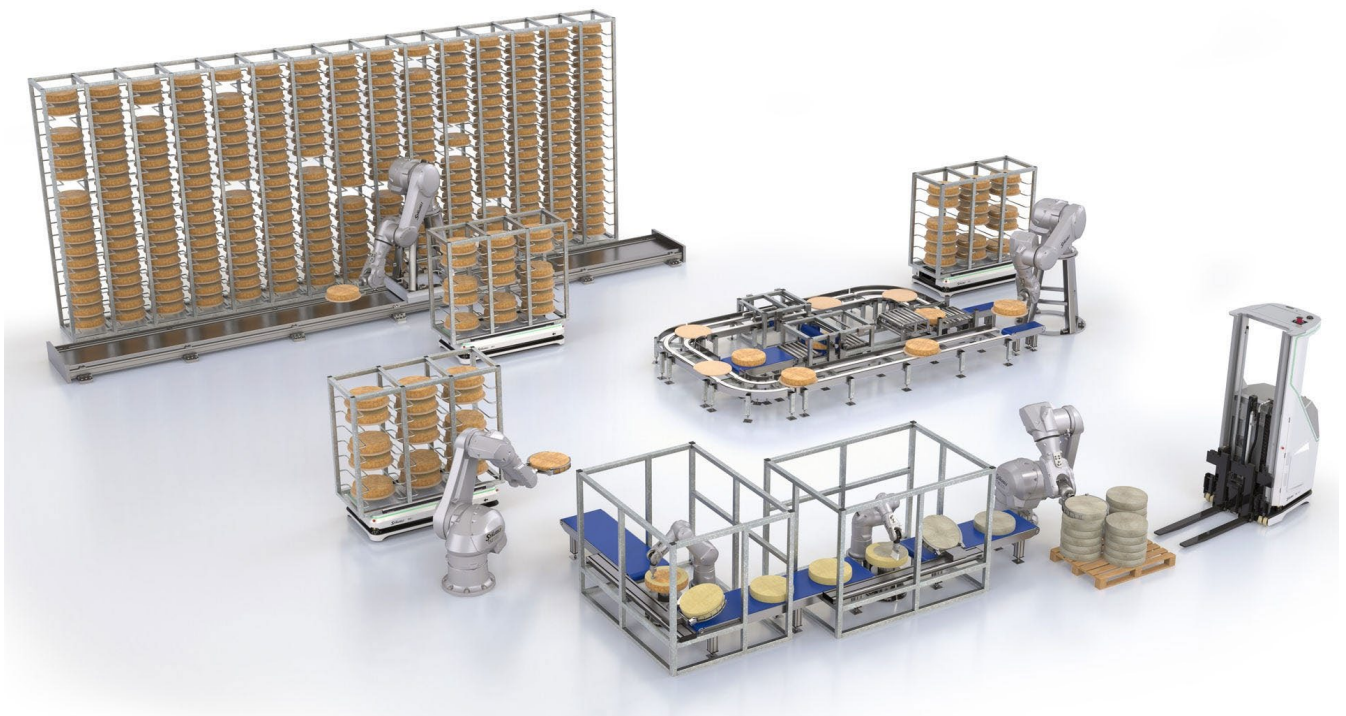


Рис.56. Лінія виробництва твердих сирів Chees Care [58]

Роботи Stäubli HE доводять свою цінність не лише у виконанні всіх етапів процесу на шляху від основного сирного колеса 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 сирних хлібів між складом, технологічними станціями та відділом відвантаження.

Згідно з рис. 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 хліби 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.). 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.

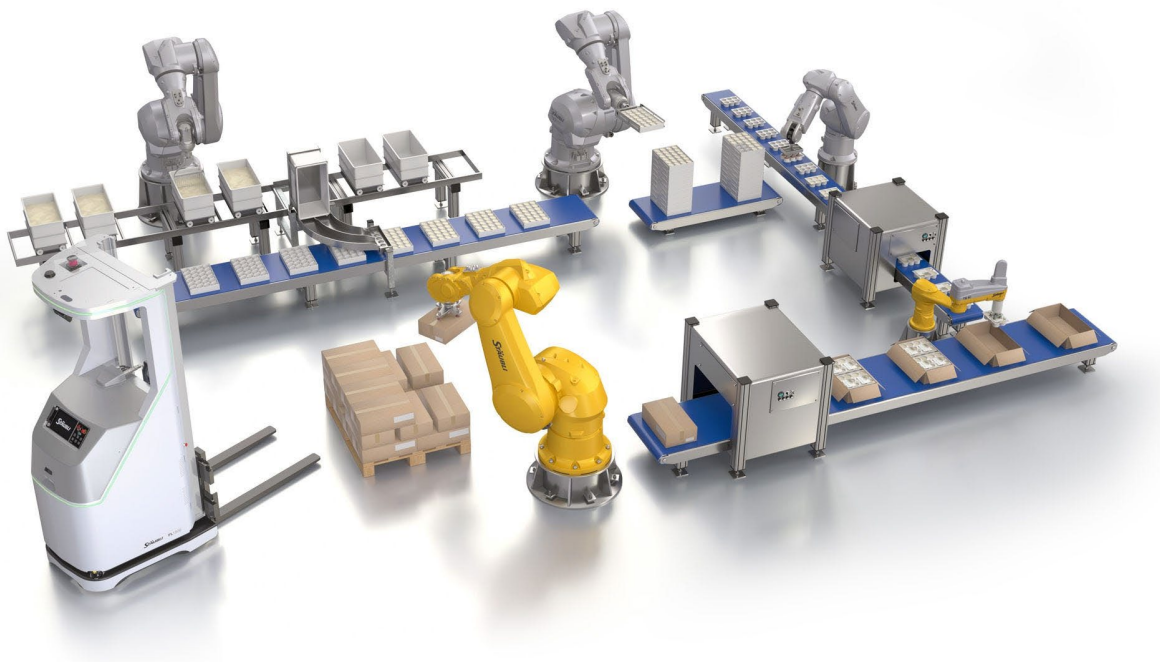


Рис. 57. Лінія з виробництва свіжого сиру [58]

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 робототехніки 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 данні 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 автоматизації молочного виробництва?
12. Як наявність роботизованих систем впливають 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. 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 : Компринт, 2015. 412 с.
4. 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.
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.
<http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/11736.pdf>

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 і рідкого молока постійно розвивалися разом із досягненнями в матеріалознавстві та технологіях разом із прагненнями та поведінкою користувачів. У цьому розділі представлено загальний огляд різноманітних підходів до екологічного пакування молочних продуктів. Антимікробна упаковка набуває інтересу завдяки своїй здатності доставляти якісні та безпечні харчові продукти. Біорозкладна упаковка відповідає екологічній точці зору, у той час як довговічність матеріалів з низьким вмістом відходів пов'язана з терміном придатності продукту, на який необхідно звернути увагу. Також включено короткий опис нових систем пакування молочних продуктів і технологій, які використовуються для пакування молочних продуктів. Активне пакування молочних продуктів допомагає зменшити проникність матеріалу, що, у свою чергу, подовжує термін їх зберігання. Технології активного пакування, пов'язані з молочними продуктами, включають використання поглиначів вуглекислого газу, поглиначів вологи/смаку/запаху, вивільнювачів,

Упаковка харчових матеріалів для їх зберігання або транспортування не є нещодавною ідеєю, але тісно пов'язана з еволюцією суспільства. Ступінь використання упакованої їжі в суспільстві історично залежав від таких факторів, як культура, попит, доступні матеріали 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 та 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 має 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 обробки. Якщо упаковка вибрана невідповідно або її цілісність сталася 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. Маркування на упаковці може інформувати покупців про інгредієнти продукту, що міститься відповідно до законодавства різних країн. Важливими міркуваннями щодо матеріалів, які використовуються для упаковки молочних продуктів, є токсичність і сумісність із продуктом, стійкість до ударів, підтримання санітарних умов, захист від запаху та світла, стійкість до втручання, характеристики форми, розміру та ваги, естетична привабливість, можливість друку та економічні міркування.

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, придатні для молочних продуктів, вибираються після ретельного розгляду різних факторів, таких як сумісність продукту, хімічна інертність, нетоксичність, стійкість до ударів, стійкість до втручання, здатність підтримувати санітарні умови, захист від світла та запаху, такі характеристики, як розмір, форма та вага, можливість друку та маркетингова привабливість, яка зрештою зводиться до вартості. Природа та характеристики молочних продуктів, що упаковуються, визначають вибір відповідного матеріалу та методу.

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 може служити бар'єром для кисню, ароматизаторів і світла, а також є кращим пакувальним матеріалом серед кількох молочних продуктів. 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 наповнюються до країв без повітряного зазору. У роздрібних упаковках об'ємом від 50 мл до 1 л використовуються багат шарові коекстудовані 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, волосіні та мотузки, а також універсальні контейнери, імітація дерева

Пакети з ламінату з алюмінієвої фольги також часто використовуються для пакування топленого масла. Для цієї мети такі матеріали були рекомендовані як гнучкі упаковки для пакування харчових олій і ванаспаті.

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 змінює швидкопсувну природу молока та забезпечує тривалий період зберігання. Процес передбачає нагрівання рідкого молока протягом 1–8 с при температурі 135–154 °С. Але упаковка відіграє важливу роль у продуктах ультрапастерогенної обробки, оскільки обробки ультрапастеризованої температури недостатньо лише для забезпечення тривалого терміну зберігання молока, якщо упаковка ненадежна. УНТ -молоко, як і пастеризоване та стерилізоване молоко, можна упаковувати в пластикові пляшки та пакети. Пляшки можуть бути відформовані видувним способом на місці пакування або попередньо сформовані в нестерилізованій або стерилізованій формі. Щоб збільшити термін придатності УНТ-молока, упаковки виготовлені з використанням кількох ламінатів, наприклад, потрійного шару поліетилену високої щільності. Проникнення кисню під час зберігання зазвичай не є проблемою. Яким би не було джерело пляшок, під час наповнення та закупорювання використовуються асептичні методи, щоб запобігти забрудненню, і можна очікувати, що термін придатності молока буде 6 місяців за температури навколишнього середовища. Для продуктів з коротким терміном зберігання (10–15 днів) зазвичай виготовляють пакети з білого поліетилену та паперу. Сьогодні відомо кілька інноваційних і нових тенденцій у пакувальних матеріалах для молочних продуктів, які можна спостерігати на світовому ринку. Як приклад можна навести такі сучасні інноваційні матеріали як целюлозні волокна, що підлягають переробці, для упаковки. Целюлозу волокнистих матеріалів, таких як натуральні волокна або перероблений папір, можна використовувати для формування упаковки, яка придатна для біорозкладання та переробки, що є привабливим.

11.2. Інновації в технології пакування молочних продуктів

Технології пакування молочних продуктів і матеріали, задіяні в процесі, роблять продукти більш привабливими та привертають увагу. Інновації в

упаковці молочних продуктів викликані не тільки потребою в екологічності, але й тому, що молочні продукти швидко псуються.

11.2.1. Упаковка з контрольованою та модифікованою атмосферою

Упаковка з модифікованою атмосферою – це система, в якій спочатку змінюється атмосфера в упаковці молочних продуктів, а згодом вона змінюється під час зберігання. Завдяки цій технології можна збільшити термін придатності молочного продукту через мікробіологічні та сенсорні показники.

11.2.2. Активна упаковка

Активне пакування — це тип упаковки, яка взаємодіє з харчовим продуктом або середовищем всередині упаковки для подовження терміну придатності, покращення безпеки або збереження якості продукту.

Активне пакування містить функціональні компоненти (абсорбенти, емітери або покриття), які: поглинають небажані речовини (кисень, вологу, етилен); виділяють захисні агенти (CO₂, антимікробні речовини); контролюють газовий склад або кислотність у середині упаковки.

Матеріали активного пакування: саше або вкладиші з активними речовинами; плівки з вбудованими антимікробними агентами; полімери з наночастинками для покращення властивостей бар'єру. Переваги: зменшення харчових втрат; безпечність продуктів; більший термін придатності без додаткових консервантів; покращення споживчої привабливості.

У цій методології пакування для підтримки свіжості та консистенції молочного продукту використовуються упаковки з етилену, кисню та вологи.

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 – це використання біосенсорів на упаковках молочних продуктів. Ці біосенсори сповіщатимуть про псування продукту через зміни кольору або індикатори. Це забезпечить здоров'я та безпеку споживача молочної продукції.

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

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 11

Порівняння: традиційна 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 бути перероблюваною 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, як випливає з назви, дозволить відстежувати пакети молочних продуктів бездротовим способом. Ця технологія

також створить інтерактивний досвід для споживача. Це підключена технологія упаковки. Виробники, які використовують цю технологію, можуть увімкнути QR-код для кращої читабельності на цифрових гаджетах, таких як смартфони та планшети. QR-коди можна підключити до соціальних мереж та інших точок взаємодії бренду.

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 UHT.* 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.

Основними операціями асептичної упаковки є:

- нагрівання продукту до температури стерилізації (140–150 °С протягом кількох секунд);
- підтримання стерильності продуктів до їх охолодження/упакування;
- розфасовка в стерильні контейнери та закупорювання в асептичних умовах.

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 перекусів. Споживачі все більше усвідомлюють користь для здоров'я ферментованих молочних продуктів, таких як грецький йогурт. Бренди упакованих молочних продуктів є інноваційними щодо рецептів, 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 ці продукти дуже швидко псуються. Вони повинні бути захищені від забруднення, а термін їх придатності повинен підтримуватися для забезпечення здоров'я та безпеки споживачів. Упаковка також є життєво важливим компонентом брендингу, а технології підключеного пакування, наприклад, вбудовування QR-коду, можна використовувати для створення захоплюючих вражень між брендом і його споживачами за допомогою таких технологій як штучний інтелект і доповнена реальність.

У харчовій промисловості, особливо для таких продуктів, як вершкове масло та вершковий сир, ефективна та надійна упаковка має важливе значення для забезпечення якості та безпеки продукції. Традиційні методи упаковки часто не мають герметичності, захисту від несанкціонованого доступу та простоти відкривання, що призводить до псування продукту та незадоволення клієнтів.

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.

Ця система використовує інноваційну концепцію складання для упаковки продуктів у фольгу, запечатуючи їх усе навколо. Пакувальний матеріал подається з рулону, а надрізи пробиваються для формування фольгованих стаканчиків, в які заповнюється продукт. Потім упаковку закривають, запечатують і згортають, щоб усі клапани щільно прилягали. Система FreshPack працює з високою швидкістю до 250 упаковок за хвилину, виробляючи упаковки із захищеними від несанкціонованого доступу кришками та ароматичними пломбами. Весь процес забезпечує безпечний, стабільний продукт, що покращує зручність і надійність як для виробників, так і для споживачів.



Рис. 58. Повністю автоматичне пакувальне рішення для вершкового масла та пасти [59]

Переваги:

- Висока швидкість пакування до 250 упаковок за хвилину;
- Захист від несправностей для безпеки продукту;
- ароматна печатка для збереження свіжості продукту;
- повністю автоматична робота скорочує ручну роботу;
- інноваційна концепція складання для безпечних і легких для відкриття пакетів.

Вакуумні пакувальні машини для термоформування Utien Pack Для термоформування вакуумної упаковки гнучка плівка розтягується в гнучкий пакувальний пакет за технологією термоформування, а потім продукт вручну або автоматично поміщається в упаковку. Повітря в упаковці витягується для створення вакуумного середовища, а потім запечатується.



Рис. 59. Термоформуюча вакуумна пакувальна машина Серія DZL-R [60]

Вакуумна упаковка може подовжити термін придатності їжі, підвищити захист продукту, зберегти смак і запобігти появі цвілі та бактерій. Це також дуже економічно ефективно. Вакуумна упаковка ідеально підходить для таких галузей: пекарні, магазини, молочні продукти, м'ясо, птиця, морепродукти, продукти швидкого приготування, корми для домашніх тварин, сільськогосподарська продукція тощо.

Вакуумні пакувальні машини для термоформування Utien Pack можна налаштувати відповідно до промислових потреб. Використано новітню автоматизовану технологію пакування харчових продуктів, модульні конструкції, щоб дати вам перевагу в якості продукції, свіжості та привабливості на полиці.

Переваги:

1. В одній багатоцільовій машині може налаштувати кілька наборів форм для упаковки різних продуктів.
2. Стабільна продуктивність і скорочення часу простою.
3. Підвищення ефективності та зниження витрат.
4. Управління комп'ютером із зручним керуванням.
5. Налаштування упаковки (розмір, форма, спеціальний дизайн).
6. Збільшення терміну зберігання.

Технічні характеристики

- Швидкість, циклів/хв – 6-8
- Глибина формування, мм – ≤ 160
- Ширина плівки, мм – ≤ 520

- Попередня довжина, мм – ≤ 500
- Матеріал – Багатошарова коекструдована пластикова плівка PE/PA, що запечатується, Недрукowana кольорова нижня плівка або прозора плівка
- Діаметр рулону, мм – 500
- Товщина плівки, мкм – ≥ 300
- Розміри, мм – 6000x1300x1870
- Робоча висота, мм – 1000
- Довжина вантажної зони, мм – 1500 (налаштовується)
- Вага, кг – 2000

Виробник – Китай.

11.3. Майбутнє упаковки молочних продуктів

Конструкції упаковок стають більш функціональними, оскільки процесори прагнуть отримати конкурентну перевагу. Упаковка стає все більш потужним елементом у спробі переробників підвищити привабливість продукту. Дійсно, розробники молочних продуктів все більше використовують жорсткі та гнучкі пакети, які дозволяють операторам йти в ногу в гіперконкурентному секторі, підвищуючи свіжість і безпечність харчових продуктів, одночасно покращуючи привабливість на полицях. Це призводить до постійного розвитку інноваційних дизайнерів постачальниками упаковки.

Еволюція молочних продуктів включала перехід від скляних пляшок до поліетиленових пакетів, картонних коробок і банок, до тетрапак і алюмінієвих банок. Провідні виробники продукції продовжують випускати інноваційні та зручні формати упаковки, включаючи прозорі контейнери та пакети, що стискаються. Деякі бренди також продають йогурт у пластикових пляшках з поліетилену високої щільності, запечатаних або алюмінієвою фольгою, ламінованими термозварними кришками, або пластиковими ковпачками або кришками з поліетилену низької щільності, щоб захистити вміст від окислення та затримка вицвітання світлочутливих кольорів.

Крім того, постачальники молочних продуктів пропонують упаковку в модифікованій атмосфері з асептичними та антимікробними властивостями, яка

допомагає продовжити термін придатності молочних продуктів до 90 днів у холодильному зберіганні шляхом контролю пов'язаного з ними грибкового забруднення. На полицях магазинів з'являються більш екологічні конструкції. Провідні молочні компанії використовують екологічну упаковку, щоб зменшити свій вплив на навколишнє середовище та зберегти природні ресурси. Альтернативні варіанти упаковки морозива для розфасованого морозива розширюються і включають неметалевий контейнер, який зменшує ризик порізів для користувачів і подальшої втрати продукту через вплив патогенів, що передаються через кров.

Споживацькі інновації також включають використання більш прозорих матеріалів, щоб покупці могли переглядати продукти в упаковках, разом із блискавками та плівкою, що закривається, для підвищення свіжості. Також доступна більша різноманітність екологічних варіантів упаковки, Споживачі хочуть знати, що упаковка, до якої вони торкаються, має гарну історію. Освіта та обізнаність споживачів щодо сталого розвитку упаковки різко зросла завдяки набагато більшому об'єму інформації, що надходить із 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 ц 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 ламінату з алюмінієвої фольги?
6. З якою метою у практиці пакування молочних продуктів застосовують целюлозу волокнистих матеріалів?

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. Промислові технології переробки м'яса, молока та риби : підручник / Ф. В. Перцевий, О. Г. Терешкін, П. В. Гурський та ін. ; за ред. Ф. В. Перцевого, О. Г. Терешкіна, П. В. Гурського. Київ : Інкос, 2014. – 340 с.
6. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
7. 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.
8. 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.

Розділ 12. ВІДХОДИ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ЇХ УТИЛІЗАЦІЯ

12.1. Вплив молочної промисловості на стан навколишнього середовища

Навколишнє середовище зазнає впливу на кожному етапі молочної промисловості, включаючи виробництво молочних продуктів, пакування продуктів і зберігання, ефективний маркетинг і розподіл. Якщо стічні води, що утворюються на цих рівнях у молочній промисловості, не утилізуються належним чином, це може спричинити кілька проблем із забрудненням. Велика кількість стоків, що містять лактозу, білок, іонний вміст і жир, виробляється молочним сектором (у менших кількостях). Перед тим, як потрапити в каналізацію, значний обсяг молочних стічних вод повинен бути очищений.

Крім того, молочна промисловість має значний вплив на забруднення води та якість води. Таким чином, для використання ефективних методів утилізації потрібні відповідні методи очищення стічних вод, оскільки велика кількість води використовується під час переробки молока та виробництва продуктів, пов'язаних з молоком. Ця велика кількість води більше не корисна, оскільки вона містить високий рівень забруднюючих речовин, що робить її непридатною для переробки. Переваги та недоліки традиційного очищення молочних стічних вод розглянуті з точки зору принципів, на яких побудовані ці процедури, що спонукало до створення нових інноваційних технологій та їх включення в очищення молочних стічних вод. Молочна промисловість утворює 1–3 л стічних вод на кожен літр виробленого молока. Стічні води містять високе органічне навантаження через наявність вуглеводів, білків і жирів, які надходять з молока. Характеристики стічних вод змінюються залежно від типу продукту, що переробляється на молочному заводі. Високий органічний вміст молочних стічних вод вимагає уваги до їх очищення, оскільки це може призвести до швидкого виснаження кисню, де б вони не скидалися. Урядами різних країн встановлені суворі правила для скидання стічних вод для захисту навколишнього

середовища (біологічна потреба в кисні 5:100 мг/л, загальна кількість завислих твердих речовин 150 мг/л, масляне мастило 10 мг/л).

Загалом традиційне очищення стічних вод молочних заводів включає різноманітні фізичні, хімічні та біологічні методи та процеси для зменшення твердих речовин зі стічних вод, таких як колоїди, органічні речовини, поживні речовини та розчинні забруднювачі (метали, органіка тощо). Можна застосувати багато підходів, включаючи традиційні методи, перевірені процеси відновлення та розробки технологій видалення і зменшення кількості відходів і споживання енергії в різних промислових процесах, але саме це спонукає до заміни застарілих технологій процесами на основі сучасних досягнень у галузі екологічного забезпечення галузевого виробництва. Прикладом може слугувати мембранна технологія, яка є важливим інструментом в харчових технологіях для обробки харчових продуктів, побічних продуктів і харчових відходів.

12.2. Очищення молочних стічних вод за допомогою інноваційної технології мембранної сепарації

На початку 1960-х першу бездефектну анізотропну мембрану зворотного осмосу з високим потоком було створено в Каліфорнійському університеті в Лос-Анджелесі через зростаючі занепокоєння щодо постачання питної води. Було знайдено ефективний метод виробництва мембран зворотного осмосу. Перше лабораторне опріснювальне обладнання, так звана «велика крапельниця», виробляло крихітні обсяги прісної води, але це породило глобальний бізнес вартістю мільярди доларів. Відкриття асиметричних мембран зазвичай вважають початком сучасних досліджень мембран. У харчовій промисловості та виробництві напоїв застосування мембранних процесів як альтернативи класичним методам розділення, очищення та концентрування продуктів для «сталого виробництва» та «підходу без відходів» є популярною та зростаючою темою. Залежно від різноманітності застосувань, причини широкого

використання відповідних мембранних процесів у харчовій промисловості та промисловості напоїв такі:

- зменшення кількості етапів процесу порівняно з традиційними методами;
- покладання на мінімізовані зміни у втраті аромату та поживних компонентів харчових продуктів і напоїв через використання високих температур у традиційних методах і покращення якості кінцевого продукту;
- висока селективність процесу.

Крім того, мембранні процеси мають вбудовані переваги, коли процес стає більш ефективним, головним чином тому, що вони зменшують кількість необхідного обладнання, пропонують велику операційну гнучкість і споживають менше енергії.

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 тупикові та перехресні потоки. У тупиковому режимі рідина, що фільтрує, зазвичай проходить через пори мембрани шляхом застосування тиску до сторони подачі. У режимі перехресного потоку живлення тече паралельно поверхні мембрани та проникає через мембрану завдяки різниці тиску. Перехресний потік перешкоджає утворенню фільтраційної осаду, таким чином підтримуючи його низький рівень.

Мембранні процеси складаються з мікрофільтрації, ультрафільтрації, нанофільтрації і зворотного осмосу. Як правило, мембрани класифікують відповідно до середнього розміру їхніх пор. Щільні мембрани – це ті, в яких транспорт компонентів тягне за собою стадію розчинення та дифузії по матеріалу мембрани. Трансмембранний тиск є рушійною силою цих мембранних процесів. Крім того, обмеження молекулярної маси має вирішальне значення в

процесах мембранного розділення (зазвичай виражається в *Da* – Дальтон – як загальна вказівка, 100 кДа зазвичай відповідає радіусу частинки 0,01 мкм.). Ці два параметри можна використовувати для характеристики мембранних процесів, керованих тиском. У цьому відношенні мікрофільтрація вимагає > 100 000 Да і 0,1–2 бар; ультрафільтрація вимагає 1000–100 000 Да та 2–10 бар; нанофільтрація вимагає 100–1000 Да і 5–40 бар, а зворотній осмос вимагає 1–100 Да і 30–100 бар. Мікрофільтрацію можна використовувати як попередню обробку в молочній промисловості для видалення бактерій і жиру та фракціонування молочних продуктів. Ультрафільтрацію можна використовувати для стандартизації молока; однак проривним застосуванням ультрафільтрації було перетворення молочної сироватки в очищені білків для комерційного використання; нанофільтрацію можна використовувати для демінералізації сироватки, тоді як зворотній осмос можна використовувати для етапів концентрації.

Явища забруднення стосуються обмежень, які зустрічаються в процесах мембранної фільтрації, в основному пов'язаних із забрудненням мембрани та концентраційною поляризацією. Ці явища призводять до зменшення потоку, що призводить до зниження продуктивності з часом. Концентраційна поляризація виникає через переважне проходження певних видів через мембрану, що супроводжується накопиченням інших видів на поверхні мембрани, що призводить до зменшення потоку пермеату. У той час як концентраційна поляризація, як правило, є оборотною шляхом регулювання робочих параметрів, таких як збільшення швидкості поперечного потоку, вона також може включати утворення шару гелю при високих концентраціях компонентів, які неможливо виправити виключно за допомогою модифікацій робочих умов. Розвиток шару гелю вимагає промивання для відновлення характеристик мембрани.

Обростання залишається значною перешкодою в мембранних процесах. Зазвичай це відбувається двома основними шляхами: адгезія або відкладення забруднення та процес фільтрації шару забруднення. Забруднення відбувається через взаємодію між забрудненнями, присутніми в розчинах для розділення, які

можуть включати тверді частинки, колоїдні частинки, біомакромолекули та поверхню мембрани. Забруднювачі фізично та хімічно взаємодіють з поверхнею мембрани, що призводить до хімічної деградації матеріалу мембрани. Мікроорганізми та біомакромолекули неспецифічно прилипають до поверхні мембрани, блокуючи або значно зменшуючи пори мембрани, тим самим спричиняючи помітне зниження потоку проникнення та ефективності розділення. Явище забруднення можна охарактеризувати різними механізмами, включаючи модель повного блокування, модель проміжного блокування, стандартну модель блокування та модель шару кека.

Численні підходи були застосовані для вирішення проблеми забруднення мембран, охоплюючи хімічні та фізичні способи обробки. Зараз вчені-екологи активно досліджують сучасні та стійкі методології, які передбачають використання екологічно безпечних або перероблених матеріалів для усунення забруднення мембран. Наступне пояснення висвітлює декілька методологій, які використовуються для оброблення стічних вод забруднення мембрани.

У мембранній фільтрації використовуються різні методи попередньої обробки. Щоб підвищити продуктивність мембрани, дуже важливо спочатку визначити основні причини забруднення мембрани. Ефективність попередньої обробки для зменшення забруднення мембрани значною мірою залежить від кількох важливих факторів, які включають тип використовуваного агента для попередньої обробки (наприклад, коагулянт, адсорбент, окислювач або біофільтр), дозування та спосіб дозування (безперервний або періодичний), техніка змішування, температура, властивості природної органічної речовини такі як щільність заряду, гідрофобність, молекулярний розмір і молекулярна маса, середовище розчину (рН і іонна сила) і характеристики самої мембрани такі як гідрофобність, заряд мембрани та морфологія поверхні.

12.2.2. Коагуляція як процес попередньої обробки для підвищення швидкості агрегації частинок

Це найпоширеніший і ефективний процес попередньої обробки через його низьку вартість і відносно просту роботу. Це все ще багатообіцяючий метод для зменшення забруднення мембрани при одночасному покращенні каламутності, розчиненого органічного вуглецю і видалення мікроорганізмів. Дуже важливо оптимізувати процес коагуляції. По-перше, тип використовуваного коагулянту може значно вплинути на роботу мембран, а недостатня доза коагуляції може погіршити роботу мембрани. Адекватна доза коагулянту значно зменшила забруднення та покращила продуктивність мембрани, що призвело до високої швидкості видалення мікроорганізмів та інших водних домішок за оптимальних умов коагуляції. Оптимізація робочих умов, таких як рН сирової води, покращує ефективність коагулянту, що призводить до зменшення забруднення та покращення роботи мембрани. Інші коагулянти, такі як галун або хлорид заліза (FeCl_3), можуть вимагати коригування рН для оптимальної роботи. Дія коагулянту також може залежати від способу коагуляції. Коагулянти можуть використовуватися як в поточному, так і в стандартному режимі. Внутрішня коагуляція відбувається без седиментації або попередньої фільтрації, тоді як стандартна коагуляція відбувається.

Процес адгезії забруднення до поверхні адсорбенту, відомий як «адсорбція», зазвичай використовується як метод попередньої обробки. Адсорбенти мають високу пористість і велику питому поверхню, що дозволяє їм ефективно поглинати або накопичувати домішки. Серед різних адсорбентів порошкоподібне активоване вугілля широко використовується в мембранних фільтраціях. Адсорбцію можна комбінувати з мембранною фільтрацією у двох конфігураціях, подібних до попередньої коагуляції: уніфікований мембранний реактор або окремий реактор після реактора.

Досліджено теоретичні переваги конкретних методів попередньої обробки та інтегрували численні підходи для компенсації обмежень. Інтегровані системи

часто мають високі капітальні витрати, що може бути складним для країн, що розвиваються. Однак, якщо такі системи ефективно контролюють забруднення та покращують продуктивність мембрани, експлуатаційні витрати можуть бути зменшені. У ситуаціях, коли неякісну джерельну воду необхідно перетворити на високоякісні стоки, навіть якщо загальні витрати високі, інтегровані системи можуть бути єдиним життєздатним варіантом. Однак важливо відзначити, що жодна відома техніка не може ефективно контролювати забруднення. Крім того, деякі інтегровані системи можуть навіть посилити забруднення мембрани. Одним із можливих пояснень суперечливої ефективності інтегрованих систем попередньої обробки є утворення опадів у результаті комбінації певних процедур попередньої обробки, що може бути шкідливим для забруднення мембрани. Тому дуже важливо ретельно оцінити будь-які несприятливі наслідки під час впровадження інтегрованих систем. Хоча капітальні витрати на системи фільтрації можуть зрости з інтегрованою попередньою обробкою, поточні дослідницькі зусилля повинні бути зосереджені на оптимізації конкретних методів попередньої обробки для підвищення проникності мембран.

Як згадувалося вище, видалення забруднень з мембран продовжує залишатися серйозною перешкодою для їх широкого впровадження, оскільки очищення є дорогим і створює значні відходи. У результаті існує великий інтерес до нових мембранних матеріалів та структур, які можуть зменшити забруднення та використання очисних засобів. Основною метою в усіх випадках є зменшення взаємодії між забруднювачами та поверхнею мембрани, або шляхом зміни поведінки мембрани у змочуванні, або шляхом сприяння турбулентності рідини на поверхні мембрани через структурування поверхні. Як наслідок, останній підхід є кращим, оскільки він застосовується до комерційних мембранних матеріалів. Турбулентність створюється головним чином шляхом створення завихрень біля поверхні мембрани через регулярні або нерегулярні структури, такі як стовпи, лінії або відступи. Ці візерунки створюються різними техніками; однією з останніх технологій є 3D-друк, яка є новою технологією виготовлення

мембран, яка дозволяє створювати більш складні та неправильні форми та структури мембран, які неможливі за допомогою сучасних методів.

Забруднення часто контролюється турбулентним потоком, який потребує більше енергії. У проточний канал трубчастих мембран можна вставити стимулятори турбулентності або статичні змішувачі. Вони відхиляють рідину, викликають завихрення, покращують зворотний транспорт частинок і збільшують швидкість зсуву на поверхні мембрани, що допомагає запобігти забрудненню. Однак потрібно більше знати, як геометрія таких стимуляторів турбулентності впливає на зменшення забруднення.

З цією метою досліджено, що зміна гідродинамічних умов у мембранному модулі може призвести до покращення ефективності змішування та умов потоку, включення тривимірних (3D)-друкованих прокладок у модуль може покращити ефективність змішування та умови потоку. Розпірки з тривимірним друком у модулі можуть покращити масообмін через ультрафіолетову мембрану шляхом зменшення концентраційної поляризації та забруднення. Тривимірний друк має потенціал для створення багатообіцяючого нового класу ефективних лабораторних фільтраційних пристроїв. З іншого боку, посилене механічне перемішування в модулі може зменшити забруднення мембрани шляхом збільшення швидкості зсуву на поверхні мембрани.

12.2.3. Адаптація варіантів техніки 3D-друку до виробництва мембран

За останнє десятиліття спостерігалось збільшення мембранного паперу, пов'язаного з 3D-друком, що відображає загальне збільшення документів про 3D-друк. Налаштування прокладок для мембранних процесів, таких як ультрафільтрація, зворотній і прямий осмос і мембранна дистиляція, було в центрі першої роботи над технологією мембранного друку. Промотори турбулентності є перспективною альтернативою для поліпшення гідродинамічних умов у процесах мембранного розділення. Ці пристрої

зменшують осадження частинок шляхом збільшення швидкості зсуву на поверхні мембрани. Геометрія промотора турбулентності також важлива для їх ефективності в процесах мембранної фільтрації. Пристрої на основі 3D-друку досягли значного прогресу в розробці промоторів турбулентності, оскільки технологія 3D-друку дозволяє створювати декілька складних геометричних форм із різних матеріалів.

Поточні дослідницькі зусилля спрямовані на визначення життєздатних стратегій для пом'якшення забруднення мембрани, що є критичним питанням у сфері альтернативних підходів до звичайних методів лікування. Майбутні наукові дослідження будуть наголошувати на використанні фізичних методів у поєднанні з методологіями 3D-друку, зокрема, націлених на обробку молочних відходів під час управління стічними водами.

Забруднення води викликає серйозне занепокоєння через зростання населення та різноманітну діяльність людини, що призводить до утворення тони стічних вод щодня. Обмежена доступність ресурсів прісної води та зростаючий попит на воду загострюють проблему нестачі води. Забруднення води виникає з багатьох джерел, таких як промисловий, побутовий і сільськогосподарський сектори, які викидають шкідливі забруднювачі у водойми. Щоб зменшити забруднення води, були введені суворі правила, особливо в розвинених країнах, щоб забезпечити належну очистку промислових стоків перед скиданням. Серед різних галузей промисловості харчовий сектор, особливо молочна промисловість, є значним джерелом забруднення води. Стічні води молочного заводу містять високі концентрації органічних речовин, поживних речовин і зважених частинок, що становить ризик для навколишнього середовища та здоров'я, якщо їх не очищати належним чином. Традиційні методи очищення, включаючи осадження, коагуляцію/флокуляцію, адсорбцію/фільтрацію та біодеградацію, використовувалися для очищення молочних стічних вод. Ці методи мають свої переваги та недоліки щодо ефективності, вартості та впливу на навколишнє середовище.

В останні роки технологія мембранної сепарації набула популярності як альтернатива очищенню молочних стічних вод.

12.2.4. Застосування мікрофільтрації, ультрафільтрації, нанофільтрації та зворотного осмосу в процесах розділення, концентрування та очищення молочних стічних вод

Ці процеси забезпечують такі переваги, як скорочення етапів процесу, мінімальні зміни якості кінцевого продукту, робоча гнучкість і менше споживання енергії. Інтеграція передових технологій, у тому числі мембранних процесів, в очищення молочних стічних вод може допомогти досягти вищої ефективності та підвищити стійкість молочної промисловості. Запровадження цих технологій має вирішальне значення для мінімізації забруднення води, збереження водних ресурсів і забезпечення виробництва безпечних і екологічно чистих молочних продуктів. Продовження досліджень і розробок у цій галузі є важливими для подальшого підвищення ефективності та застосовності технологій очищення молочних стічних вод.

У зв'язку зі збільшенням обсягів молочної промисловості збільшується утворення відходів, які потребують належного поводження. Управління відходами є гострою проблемою в усьому світі. Із зростанням промисловості та урбанізацією очищення та утилізація спричиняє більше проблем, оскільки для цього потрібні величезні гроші. Однак, розглядаючи «відходи» як «ресурс», відновлення ресурсів з відходів викликає інтерес дослідників, оскільки це забезпечує соціальну та екологічну стійкість. Нинішні дослідження в основному зосереджені на відновленні таких ресурсів, як одноклітинний білок, біодобрива, енергія та біопродукти з відходів та стічних вод молочної промисловості.

12.3. Вплив молочних відходів на довкілля та форми життя

Відходи молочної промисловості негативно впливають на якість повітря, води та ґрунту. При скиданні в громадську каналізацію такі стічні води спричиняють складність вторинної очистки, як-то низька здатність до осідання осаду та інші операції з очищення муніципальних стічних вод. Це може бути через грибок стічних вод, ниткоподібний слиз, що утворює бактеріальні колонії.

Тверді відходи. Повноцінний молокозавод, який щодня переробляє близько 5 млн. літрів молока, виробляє близько 200–350 кг осаду. Загалом мул далі класифікують на дві великі категорії: хімічний осад і біологічний осад. Мул містить органічні речовини, що розкладаються, і тверді речовини, що не піддаються біологічному розкладанню. Кількість утвореного мулу збільшується зі збільшенням кількості стічних вод. Стає складним завданням обробка та утилізація утвореного осаду, оскільки він становить 60% від загальної вартості експлуатації очисних споруд. Шлам, що утворюється молочною промисловістю, зазвичай розкидається поблизу через високі витрати на транспортування, що призводить до накопичення несприятливих речовин у довгостроковому застосуванні. Тому існує необхідність пошуку альтернативних методів його належної утилізації осаду.

12.4. Сучасні технології обробки відходів молочного виробництва

Поводження з молочними відходами, прийняте в різних країнах, відрізняється відповідно до норм і законів країни. Повідомлялося про різні фізичні, хімічні та біологічні способи обробки.

Фізико-хімічні методи. У різних країнах розроблено різні способи очищення стічних вод молочної промисловості. Під час прийняття процесу очищення враховуються такі фактори, як капітальні витрати, експлуатаційні витрати, потреба в обробці, щоб стічні води відповідали державним нормам. Повідомлялося про основні етапи, такі як скринінг, коагуляція, флотація

розчиненого повітря та адсорбція. Для очищення стічних вод були прийняті різні передові процеси, які обговорювалися та повідомлялися дослідниками. Передові методи використовуються для заміни енерговитратних традиційних методів.

Біологічні процеси. Біологічні процеси обробки молочних відходів є найбільш перспективними методами. Біологічне очищення – це аеробні та анаеробні технології очищення, наприклад водно-болотні угіддя, крапельні фільтри, реактор із псевдозрідженим шаром, анаеробна ковдра мулу з висхідним потоком, реактор з резервуаром та повним перемішуванням, біологічний реактор з рухомим шаром, послідовні реактори періодичної дії і процес активованого мулу були зареєстровані в усьому світі і обговорюються в цьому розділі.

Водно-болотні угіддя. Wetlands ефективно використовує рослинність і мікроби ризосфери для видалення органічного навантаження зі стічних вод. Основна перевага цієї технології полягає в тому, що вона не потребує постійного моніторингу, низькі капітальні витрати, нижчі операційні витрати, і щонайбільше вона є екологічно чистою. Основним недоліком цієї системи є те, що стоки не можна скидати безпосередньо в каналізацію, замість цього їх можна використовувати для зрошення. Ця система розглядається як система нульового розряду.

Аеробні процедури. Процес з активним мулом є одним із найбільш бажаних методів зменшення органічних речовин. Модифікований аеробний гранульований мул набагато кращий, ніж звичайний, оскільки він має набагато більшу стійкість до ударів, меншу токсичність і набагато більшу здатність до осідання. Він також дуже ефективний у відновленні біомаси.

Реактор періодичного секвенування – це серія резервуарів, які працюють для видалення небажаних сполук.

Секвенування (від англ. sequence – послідовність) – метод визначення первинної структури нерозгалужених біополімерів (ДНК, РНК, білків та вуглеводів),

Ємності заповнюються в різний час і функціонують як реактор періодичної дії і процес аерації та осадження відбувається миттєво. У такій системі відпадає необхідність у відстійнику, оскільки процеси вирівнювання, аерації та

відстоювання відбуваються в одній ємності. Таким чином, це стає економічним вибором, оскільки потрібні менші інвестиції, а також можна обробляти відходи з більшим вмістом твердих речовин.

Обертові біологічні контактори є серією дисків, прикріплених до валу. Щоб досягти належного скорочення, можна використовувати багатоблокову систему з 3-6 наборів реакторів. Через високий вміст жиру, олії та жиру може утворюватися важка біоплівка, що призводить до злущування біомаси, що зрештою призводить до зниження продуктивності.

Анаеробна обробка. Порівняно з аеробною системою, анаеробна система не потребує енергії і тому є більш економічною. Виробництво метану з анаеробного зброджування може бути використано як джерело енергії. Крім того, кількість мулу, що утворюється в таких системах, є меншою, що є корисним аспектом для утилізації. Вона ефективна у знищенні патогенів, а осад, що утворюється в результаті цього процесу, має кращу якість. Висока здатність до біологічного розкладання та вміст вологи дуже корисні в процесі анаеробного зброджування для отримання сталої біоенергії.

Анаеробний осад з висхідним потоком широко використовується для очищення молочних стічних вод. Зростання мікробної біомаси відбувається у зваженому вигляді. Потік стоків у йде вгору через шар мулу. Газ, який утворюється, відокремлюється сепаратором, а залишки води без біомаси утилізуються, а мул осідає на дні.

Анаеробний секвенуючий реактор періодичної дії працює в чотири етапи: подача, реакція, відстоювання та вилучення після завершення обробки. За допомогою цього реактора можна очищати стічні води, що зменшує окремий етап відстоювання. Основним обмеженням цієї техніки є те, що вона погано працює при перевантаженні.

Аеробна та анаеробна обробки утворюють мул. Осад, як правило, однорідний, практично не має запаху, містить багато органічних речовин, тому перед утилізацією необхідна додаткова обробка осаду. Шлам подається в метантенк для подальшого розкладання та стабілізації. Зневоднений осад можна

використовувати як компост чи сміттєзвалище, або його можна утилізувати як ґрунт. Розповсюдження землі може спричинити такі проблеми, як накопичення відходів, евтрофікація 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 недостатні та непридатні для очищення стічних вод, що містять складну органічну речовину та неорганічну речовину, через обмеження мікроорганізмів для їх метаболізму. Існуючий електрохімічний процес також має недоліки з точки зору потреби в енергії. Біоелектрохімічні системи являють собою комбінацію біологічних та електрохімічних процесів, обробляють відходи та одночасно виробляють електроенергію, водень та інші корисні продукти, і, таким чином, вони відіграють дуже важливу роль у циркулярній економіці. Це система, яка може відповісти на два найважливіших питання, а саме «Енергія» та «Забруднення». Електрохімічно активні мікроби відновлюють органічні речовини на аноді, що призводить до перенесення електронів від анода до катода. Вихідна енергетична ефективність залежить від кількості електронів, накопичених і переданих до анода. Типи біоелектрохімічних систем: мікробний електролізний елемент, мікробний паливний елемент, мікробний опріснювальний елемент, ферментативний біопаливний елемент, мікробний реверс-електродіалізна комірка, мікробні сонячні батареї та мікробний електросинтез. Найдосконалішими і широко вивченими біоелектрохімічними системами є мікробні паливні елементи.

Мікробна паливна комірка — це тип біоелектрохімічної системи, у якому мікроби в анодній частині комірки виробляють електроенергію шляхом окислення органічних речовин у відходах. У цьому процесі мікроби генерують

як електрони, так і протони. Електрони переносяться на анод бактеріями. Вироблені протони повинні бути видалені з анодної камери через протонообмінну мембрану до катодної камери, де ці протони поєднуються з електронами та киснем, утворюючи воду.

12.5. Молочні відходи до продуктів із доданою вартістю

Молочні відходи багаті органічними речовинами, тому їх можна використовувати як субстрат для виробництва різноманітних сполук. Сполуки, отримані з молочних відходів, дуже корисні в галузі харчової, сільського господарства, нафтової, косметичної та фармацевтичної промисловості, а також сільському господарстві та для сталого розвитку.

Одноклітинний білок і біодобриво. Одноклітинні білки – це висушені бактерії, дріжджі, гриби та водорості. Вони багаті білком і мають переваги перед рослинними і тваринними білками, оскільки ріст цих клітин не є сезонним і на нього не впливає клімат, тому вони можуть вироблятися цілий рік. Осад, утворений молочною промисловістю, був оцінений для культивування *Rhizobia*. З цією метою використовували різні концентрації молочного осаду.

Біополімер і біосурфактант. Біополімери – це природні полімери, які утворюються живими організмами. Екзополісахарид ксантанова камедь синтезується *Xanthomonas spp.* є цінним промисловим біополімером. Він має високу в'язкість у низькій концентрації, що є ознакою його розгалуженої структури, а також підвищена висока молярна маса та стабільність у широкому діапазоні рН робить його полімером вибору.

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, як і інші відходи, є перспективним субстратом для виробництва водню (H_2) і метану (CH_4). У пошуках альтернативного нового джерела для виробництва електроенергії молочні відходи можна ефективно використовувати в мікробних паливних елементах як субстрат.

Сталий розвиток є великою проблемою для країн, що розвиваються. Таким чином, розробка успішної концепції циркулярної біоекономіки сприяє розвитку економічного процвітання, якості навколишнього середовища та соціальної справедливості для нинішнього та майбутніх поколінь. Циркулярну біоекономіку можна визначити як сумачію сталого споживання природних ресурсів і сталого управління ними. Біоелектрохімічні системи можуть бути реалізованими на існуючих заводах з обробки відходів для вирішення проблем потреби в енергії та забруднення. Тим не менш, є багато питань без відповіді щодо його впровадження на великомасштабних очисних спорудах, пов'язаних із вартістю встановлення та експлуатації, низьким споживанням енергії та ефективністю у зниженні ХПК. Використання консорціумів мікроорганізмів, що працюють у синергії, є одним із широких і потенційних підходів. Таким чином, він може бути дуже ефективним при обробці молочних відходів.

Молочні відходи містять високий вміст органічних речовин і викликають глобальне занепокоєння, оскільки кількість відходів зростає з кожним днем, а їх належна утилізація стала актуальною проблемою через суворі правила скидання відходів і захисту навколишнього середовища. Ці відходи можуть бути субстратом для великомасштабного виробництва біомаси, біополімерів та генерації енергії за допомогою інтеграції технологій. Інтегрована система, як-то біоелектрична система, і її подальша інтеграція з іншими технологіями можуть бути корисними для обробки відходів і досягнення «відходів до ресурсів», якщо відходи молочного виробництва утилізуються належним чином. У цьому контексті концепція біопереробки відходів із застосуванням останніх досягнень у відновленні ресурсів із відходів молочної промисловості буде важливим аспектом сталості.

У якості прикладу наведена сучасна система очищення стічних СІР (Cleaning in Place) вод молочного виробництва, яка забезпечує очищення внутрішніх поверхонь устаткування з допомогою дезінфікуючих розчинів задля досягнення як фізичної, хімічної, а також і бактеріологічної його чистоти.



Рис. 60. Система очищення СІР для молочної промисловості [61]

Автоматична статична система СІР від INOXPA розроблена для полегшення очищення на середніх і великих молочних підприємствах.

INOXPA, Іспанія, є світовим лідером у виробництві та дистрибуції компонентів і обладнання для обробки рідин з нержавіючої сталі для харчової, косметичної та фармацевтичної промисловості.

Ця система включає базову раму з компонентами, резервуари для води та хімічних продуктів, а також сполучні труби. Завдяки моделям, які підтримують 1 або 2 лінії очищення, це дозволяє налаштувати відповідно до потреб виробництва. Виготовлений із таких матеріалів, як AISI 316L для резервуарів для хімічних продуктів і AISI 304 для резервуарів для води, вона забезпечує

довговічність і гігієну. Такі ключові елементи, як насоси, трубчасті теплообмінники, електромагнітні витратоміри та сенсорні екрани, оптимізують продуктивність. Додаткові функції включають манометри, цикли дезінфекції та передові системи зв'язку.

Переваги:

- можливість налаштування відповідно до специфікацій виробництва;
- ефективне зменшення бактерій і домішок;
- простота інтеграції з наявними налаштуваннями;
- зручне керування сенсорним екраном;
- міцна конструкція з високоякісних матеріалів.

Як відомо забезпечення гігієни в харчовій промисловості, особливо при виробництві молочних продуктів, має вирішальне значення. Неправильне очищення може призвести до забруднення, втрати продукту та негативно вплинути на якість.

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?
13. Що таке біоелектрохімічні системи для очищення молочних стічних вод?
14. Чи можна виробляти з промислових відходів молочного виробництва корисні продукти, наприклад, біопаливо?

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. 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.
5. 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.
6. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2012. 330 с.
7. 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.
8. 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.
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. <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 – це емульсія, яка містить близько 87% води. Решта 13% складають нерозчинні жирні кислоти, неорганічні речовини, вітаміни та ферменти. Свіже молоко є чудовим живильним середовищем для мікробної флори, яка може забруднювати кінцевий продукт. Як наслідок, виробництво молока та молочних продуктів підлягає надзвичайно суворому регулюванню. Ці правила регулюють спосіб доїння, а також процедури підготовки, добавки, обладнання для переробки та транспортні цистерни, які транспортують молоко від ферми до об'єкта для переробки. Молоко контактує зі стінками обладнання, в якому воно обробляється або транспортується. Конструкційні матеріали зазвичай вибирають на основі їх міцності, еластичності, твердості, ударної в'язкості, чутливості до зношування, стійкості до корозії та втоми, простоти виготовлення, доступності та собівартості.

Якість і вартість матеріалів є критично важливими елементами в проектуванні, будівництві, експлуатації та обслуговуванні загального технологічного обладнання. При виборі та використанні цих матеріалів використовуються принципи металургії та матеріалознавства. Певні характеристики необхідні для обладнання та машин для заводу з обробки молока. Вони не повинні вступати в реакцію з молоком і молочними продуктами, не піддаються корозії і мати достатній захист від будь-яких пошкоджень. Труби, фітинги, клапани та інше обладнання для обробки молока на молочному заводі відіграють важливу роль у підтримці якості продукції, а також вартості будівництва заводу. Матеріали, які використовуються у виробництві молочного обладнання, також відіграють важливу роль у санітарному проектуванні та підтримці гігієни. Вони грубо класифікуються як ті частини обладнання, які

контактують з молоком і молочними продуктами, і ті, що не контактують. В основному використовуються чавун, сталь, нержавіюча сталь, алюміній, пластик, скло та інші матеріали. Вибір матеріалу стає критичним, оскільки деякі металеві компоненти не повинні потрапляти в молоко та молочні продукти. Основна вимога до якості вибору матеріалів: будь-яке молочне обладнання класифікується на хімічні, фізичні та механічні категорії.

Такі хімічні фактори, як склад і структура матеріалу, допомагають зрозуміти ступінь міцності, який надають матеріалу різні термічні обробки. Фізичні властивості допомагають зрозуміти потенційні застосування, такі як вибір ваги, теплопровідність тепла тощо. Механічні якості допомагають у проектуванні та виготовленні обладнання. Міцність матеріалу відображає його здатність витримувати зовнішню силу, а отже, напруги розтягування і стиснення. Жорсткість є мірою опору деформації. Пластичність є мірою подовження, тоді як твердість є мірою стійкості до подряпин. Конструкційні матеріали не повинні вступати в реакцію з молоком або молочними продуктами і повинні бути довговічними. Більшість вимог до молочного обладнання, а саме: зношування, значні коливання температури під час роботи, вода, пара, розсоли, холодоагенти, матеріали для очищення та дезінфекції мають бути гнучкими. Санітарні умови відіграють велике значення в молочній промисловості, отже, щоб досягти цих вимог, необхідно технічно грамотно спроектувати обладнання та вибрати відповідні матеріали.

Контактний матеріал має бути:

1. Пилонепроникним, стійким до корозії зовнішньою поверхнею.
2. Контактуюча внутрішня поверхня повинна бути гладкою полірованою.
3. Мінімальний проміжок між основою обладнання та підлогою має бути не менше 100 мм.
4. Основа обладнання забезпечується кульовими ніжками і не мати гострих кутів і країв.
5. Не повинно бути вертикальних мертвих просторів за умови правильного нахилу у напрямку до точок дренажу і належним чином

відшліфовані та відполіровані зварні шви, особливо якісними повинні бути вхідні та випускні фітинги санітарного типу.

6. Усунення деяких з недоліків обладнання, виготовленого з металів та його сплавів алюмінію, міді, олова, заліза коли на поверхнях, що контактують з молоком і молочними продуктами, має місце розвиток стороннього присмаку, зміну кольору матеріалу, корозію посудин і утворення небезпечних хімічних речовин.
7. Нержавіюча сталь має мати високу стійкість до корозії, що дозволяє молочному бізнесу екстенсивно та швидко розширюватися. Вона поводить досить нейтрально і не змінює смак свіжого молока.

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 є широко використовуваними матеріалами у виробництві харчового обладнання. Метали далі поділяються на категорії чорні та кольорові. Останнім часом були розроблені метали з антибактеріальними хімічними речовинами в їх структурі. Чорні метали, до складу яких поряд з іншими елементами входить залізо, відрізняються між собою міцністю, характеристиками обробки та ін.

Чавун і сталь. Коване залізо є найчистішою формою заліза з найменшою кількістю вуглецю та інших домішок. Його легко обробляти та зварювати, що робить його придатним для високотемпературних застосувань, таких як лінії подачі пари, нагрівальні змійовики, вихлопні лінії тощо. Чавун, з іншого боку, має концентрацію вуглецю від 2,5 до 4% і може бути відлитий у будь-яку форму за допомогою форми. Його важко обробляти і зварювати. Чавун використовується в основному для допоміжних цілей, корпусів і литих частин молочного та харчового обладнання та не контактує безпосередньо з молоком і

молочними продуктами. Залізо з'єднується з солями молока або молочною кислотою, утворюючи гіркі солі, а в деяких випадках і отруйні сполуки. Вуглецева сталь – це сплав заліза, що містить від 0,06 до 1,5% вуглецю. У сталі немає графіту. Вуглець зустрічається у формі карбїду заліза через його здатність підвищувати твердість і міцність сталі. Сталь стає твердішою та міцнішою, оскільки вміст вуглецю в ній збільшується, але зменшується зварювальна здатність. Щоб змінити їх використання, додають незначні кількості фосфору, сірки, кремнію та марганцю. Вуглецева сталь визначається як сталь, яка має свої властивості в основному завдяки вмісту вуглецю та містить не більше 0,5% кремнію та 1,5% марганцю. М'яка сталь містить від 0,06 до 0,15% вуглецю. М'яка сталь із вмістом вуглецю від 0,15 до 0,45% є найчастіше використовуваною сталлю. Це залізо зазвичай використовується для виготовлення посудин, трубопроводів і арматури. Така сталь найбільш проста у виробництві та обробці. Середньовуглецева сталь з вмістом вуглецю від 0,45 до 0,8% підвищує міцність. В результаті з цього матеріалу виготовляють вали, пружини, болти. Високовуглецева сталь із вмістом вуглецю від 0,8% до 1,5% надзвичайно тверда. У результаті такі ріжучі інструменти, як леза, пилки, зубила тощо, виготовляються з цього типу заліза. Вуглецева сталь стійка до безводних мінеральних кислот і досить стійка до розчинів лугу; незважаючи на це, вона поглинається органічними та розбавленими мінеральними кислотами, і надзвичайно чутлива до вологи. Сталь з низьким вмістом вуглецю широко використовується для корпусів резервуарів, чанів, пляшкомиїних машин, конвеєрів тощо. Легована сталь – це різновид сталі, яка складається з нікелю, хрому, кремнію, марганцю, молібдену, титану та інших елементів. Легування виконується для конкретних цілей для підвищення зносостійкості, стійкості до корозії та покращення електричних і магнітних властивостей, які не можуть бути отримані в простих вуглецевих сталях і використовуються для теплообмінників, молокопроводів і молочного обладнання в цілому. Сплави заліза, які використовуються для пакування харчових продуктів, класифікуються як «вуглецева сталь» із вмістом вуглецю менше 1%.

13.1.2. Нержавіюча сталь

Нержавіюча сталь – це сталевий сплав, який містить залізо, хром і нікель.

Нержавіюча сталь є благородним металом для використання в молочному секторі. Крім того, сталь з вмістом хрому понад 10,5% називається нержавіючою сталлю. Деякі з обмежень нержавіючої сталі, що використовуються в харчовій і молочній промисловості, полягають у впливі молочної та яблучної кислот при високих температурах і низькій теплопровідності. Однак цих обмежень можна уникнути шляхом ретельного вибору та виробництва, відповідних умов праці та догляду та технічного обслуговування обладнання. Для забезпечення стійкості до окислення або утворення накипу необхідно принаймні 20% хрому. Це послужило поштовхом для створення жароміцних сталей для використання в хімічній, харчовій, молочній промисловості, виробництві напоїв, біопереробці та фармацевтиці. Існує понад 150 марок або типів нержавіючої сталі.

Нержавіючі сталі класифікуються на основі їх хімічних характеристик, які дають інформацію про боротьбу з різними формами корозії. Найбільш поширені аустенітні, феритні, мартенситні, дуплексні та супераустенітні марки нержавіючої сталі. Кожна з цих основних груп має ряд сплавів, що характеризуються хімічним складом і описані в європейських і американських міжнародних стандартах. Крім хрому, компоненти сплаву молібден, нікель і азот відіграють важливу роль у стійкості до корозії. Вуглець присутній певною мірою завжди, і він має вирішальне значення для якості зварювання. Позначення серії AISI (Американського інституту чавуну та сталі) для нержавіючої сталі включають: 200 (аустеніт з високим вмістом марганцю), 300 (аустеніт), 400 і 500. (феритні та мартенситні). Мартенситні та феритні сталі є магнітними, а мартенситні сталі часто піддаються термічному зміцненню і їх важко виготовити. Холодна обробка зміцнює аустенітні сталі. Дуплексні марки (аустенітні/феритні) твердіші за феритні та більш стійкі до корозійного розтріскування під напругою, ніж аустенітні. Аустенітна нержавіюча сталь із серією 300 є найпоширенішою нержавіючою сталлю, яка використовується для

виготовлення молочного обладнання. Аустенітна нержавіюча сталь має високу концентрацію хрому та нікелю. Сталь 18/8 є найбільш часто використовуваною сталлю, яка містить 18% Cr і 8% Ni. Аустенітна нержавіюча сталь становить більшість (70–80%) загального виробництва нержавіючої сталі та особливо поширена в молочній та харчовій промисловості. Аустенітна нержавіюча сталь є немагнітною, пластичною, піддається термообробці та легко виготовляється. Її основною вразливістю є хлоридне корозійне розтріскування під напругою, яке відбувається при температурах вище 55°C. Окрім хрому, аустенітна нержавіюча сталь зазвичай містить від 8 до 30% нікелю та різні кількості молібдену. Аустенітна нержавіюча сталь має низький вміст вуглецю і не піддається термічній обробці. Тим не менш, холодна деформація може викликати деяке зміцнення. Стійкість до корозії, зварюваність і здатність формувати аустенітну нержавіючу сталь сприяють її привабливості. Подібним чином їх стабільність при високих і низьких температурах робить їх корисними для широкого спектру застосувань. Аустенітну нержавіючу сталь слід використовувати для молочного виробництва, оскільки вона є більш стабільною та стійкою до корозії, ніж інші види нержавіючої сталі. Її застосування у молочному виробництві включає:

- технологічне обладнання, таке як пастеризатор, гомогенізатор, сепаратор, декантер, металодетектор, теплообмінник, змішувальний бак і технологічний бак тощо;
- резервуари для зберігання та формоутворююче обладнання складаються з силосного резервуару, автоцистерни, доїльний апарат, бідони та охолоджувач молока тощо;
- аксесуари, які включають арматуру, клапан, насоси та лабораторні інструменти тощо.

Аустенітні сплави з нержавіючої сталі нижчого класу (наприклад, серії AISI 100 і 200) зазвичай не рекомендуються для використання в молочному та харчовому обладнанні. Нержавіюча сталь AISI 302 використовується для покращення зовнішнього вигляду харчового обладнання, але не обладнання, що контактує з молоком чи корозійними речовинами. AISI 304 використовується

для виготовлення труб, фітингів, силосів, резервуарів і ємностей. Використання нержавіючої сталі AISI 303 обмежено, а сплави, що містять свинець, мідь, що вимивається, або інші шкідливі сполуки, спеціально заборонені відповідно до санітарних стандартів. Приблизно 50% усієї виробленої нержавіючої сталі становить нержавіюча сталь 304, склад якої містить 18% Cr і 8% Ni. Щоб забезпечити більшу міцність, для загального використання найчастіше використовується нержавіюча сталь AISI 304. Якщо говорити про харчовому сегменті в Україні, то модель 12X18H10T (аналог AISI 321), найпопулярніша. Поряд з нею – 08X18H10 (аналог AISI 304), яка цілком здатна стати широко використовується внаслідок своєї невисокої вартості.

AISI 316 містить 2–3 % молібдену, що покращує властивості сплаву при високих температурах, що важливо під час зварювання. AISI 316 використовується у виробництві пластин пластинчастого теплообмінника, резервуарів і труб випарника, які потребують підвищеної стійкості до корозії. 304L і 316L мають знижений вміст вуглецю (0,03%), що дозволяє зварювати більш товсті листи з нержавіючої сталі. Залежно від складу існують варіації складу та якості серед марок нержавіючої сталі. Щоб покращити зварюваність, можна розробити сплави з низьким вмістом вуглецю (наприклад, 304L, 316L). Ці сплави, однак, будуть слабшими, ніж основна марка (наприклад, 304, 316). Вищі рівні вуглецю, з іншого боку, можуть використовуватися для більш міцних сплавів (наприклад, 304H, 316H). Отже, модифікована нержавіюча сталь нижчого класу AISI може відображати властивості, подібні до атрибутів вищого класу, змінюючи склад. Феритна нержавіюча сталь містить більш високий відсоток Cr (16–18%) і приблизно 0,12% вуглецю. Така сталь (серія AISI 400, наприклад, 410, 430) є магнітною і термічно зміцненою; вона містить лише слідові кількості нікелю на додаток до хрому, тому вона відносно стійка до корозії. Ударна стійкість значно знижується при низьких температурах, в'язкість до руйнування нижча, але більш висока міцність і стійкість порівняно з аустенітною нержавіючої сталі. Її складніше конструювати і зварювати через велику міцність. Феритні марки нержавіючої сталі використовуються в ситуаціях із

сильним окисненням (наприклад, азотна кислота). Вони значною мірою стійка до хлоридів. Перша група нержавіючої сталі – це «мартенситна». Високий рівень вуглецю в мартенситних нержавіючих сталях ускладнює формування та зварювання, а також робить їх дуже твердими та міцними, а термічна обробка може зробити їх ще твердішими. Марка AISI 420 містить мінімум 0,15% вуглецю і ідеально підходить для лез ножів. Мікроструктура дуплексної нержавіючої сталі має властивості аустеніту та фериту. Через їх велику міцність і пластичність вони можуть бути корисними для харчової промисловості. У дуже корозійних умовах, наприклад у виробників сиру, може знадобитися одна з другої групи залізовуглецевих хромонікелевих нержавіючих сталей, відомих як «дуплексні» сталі. Вони містять надзвичайно велику кількість хрому (22% у марці AISI 2205 і 23% у марці AISI 2304), а також приблизно 3% молібдену. Вони мають загальну стійкість до корозії, еквівалентну аустенітній нержавіючій сталі, але значно кращу механічну міцність. Супераустенітні нержавіючі сталі можуть витримувати надзвичайно суворі умови. Аустенітні нержавіючі сталі мають виняткову стійкість до корозії в широкому діапазоні суворих умов завдяки великій кількості хрому, нікелю, молібдену та азоту, а також низькому вмісту вуглецю. Типовим прикладом є марка (AISI 904L), яка містить більше 4% молібдену, і марки (AISI 254 SMO), які містять більше 6% молібдену. Нержавіючу сталь не слід використовувати з сольовими розчинами (сіллю) у воді. Конкретна нержавіюча сталь, покрита антибактеріальним хімікатом Ag^+ , і конкретні діоксиди титану, які можуть використовуватися в різальному обладнанні, є двома прикладами таких металів.

13.1.3. Алюміній і сплави

Алюміній і сплави: це легкий метал із питомою вагою 2,7, температурою плавлення 658 °C і міцністю на розрив 150 МПа. Цей метал і його сплави часто використовуються у виробництві молочних бідонів, відер для молока, футеровки резервуарів і цистерн, і так далі. Алюміній зазвичай використовується для

виготовлення молочних банок. Він легкий за вагою, нерозчинний у молоці, не має запаху, чудово проводить тепло і може бути перетворений у різні форми. Як результат, це один із визнаних металів. Тим не менш, він проникний, що робить зварювання проблематичним. Стійкість до стирання низька, що призводить до появи сірих плям. Поверхня зазвичай передбачена. Анодування – це обробка поверхні, під час якої частини, що підлягають обробці, виготовляються анодами та занурюються в електролітичну ванну (з сірчаною, хромовою або щавлевою кислотою) для створення безбарвного та стабільного шару. Оскільки його міцність залишається стабільною при температурі нижче приблизно -250°C , а його теплопровідність висока (208,8 Вт/мК), його використовують для обладнання для заморожування молока та їжі. Алюмінієві сплави містять один або кілька інших елементів, таких як мідь, магній, марганець, кремній і нікель. Додавання невеликих кількостей легуючих елементів перетворює м'який і слабкий метал в твердий і міцний, при цьому все ще зберігаючи свою легку вагу. Основними алюмінієвими сплавами є дюралюміній, У-сплав, магнелій і гіндалій. Міцність дюралюмінію вища, ніж у чистого алюмінію, але стійкість до корозії нижча. Нажаль алюміній може потрапити в молоко та молочні продукти під час виробничого процесу або через забруднення металообробного обладнання. Використання алюмінієвого посуду для обробки та зберігання молока може значно підвищити рівень цього металу в молоці та молочних продуктах, а на вимивання цього металу з посуду впливає якість ємності, рівень рН, приготування умови та наявність комплексоутворювачів.

13.1.4. Мідь і сплави

Мідь і сплави: це один із найбільш широко використовуваних кольорових металів у промисловості. Він червонувато-коричневого кольору, м'який, пластичний і пластичний. Він має питому вагу 8,9 і температуру плавлення 1083°C . Мідь має міцність на розрив приблизно 360 МПа. Це чудовий провідник електрики. Мідні труби широко використовуються в машинобудуванні. Він також використовується у виробництві боєприпасів. Використовується у якості

корисних сплавів з оловом, цинком, нікелем і алюмінієм. Латунь – найпоширеніший мідно-цинковий сплав. Латунь також є небажаним компонентом, оскільки вона впливає на смак. Бронзи – це металеві сплави, що складаються з міді та олова. Після покриття неокисленими металами, такими як нікель або хром, бронза використовується в різноманітному молочному та харчовому обладнанні. Концентрація міді в гарячому молоці або вершках впливає, особливо при полосканні лужним розчином. Все, що є більш кислим, ніж молоко, загалом спричиняє корозію мідного обладнання, що робить його непридатним для великомасштабного виробництва. Цей метал в основному використовується у виробництві відер для молока, охолоджувачів, чанів, сітчастих фільтрів, трубопровідної арматури, молочних насосів, пастеризаторів та інших подібних предметів (використовуються лише для лудіння). Плями в молоці або молочних продуктах будуть результатом контакту з молоком. Для протидії цьому ефекту на поверхню наноситься олово. Під впливом молока на цей метал утворюється зелений продукт корозії, шкідливий для людини. Коли молоко вступає в контакт з міддю, вона розчиняється і існує в активній формі у вигляді іонів міді. У присутності прямого сонячного світла або повітря іони міді каталізують гідроліз молочного жиру, необоротну подію, яка призводить до утворення неприємного смаку. Цей недолік смаку особливо поширений у продуктах з високим вмістом жиру. Солі міді мають зеленуватий колір, різкі на смак і отруйні, коли їх іони з'єднуються з молочною кислотою або молочною кислотою.

13.1.5. Олово

Олово: олов'яне покриття також не дуже стійке до стирання. Жерсть дешевша та важча за алюміній, придатна для вторинної переробки, має магнітну властивість, яка сприяє сегрегації, її легко декорувати, вона непроникна для вологи та газів і може витримувати високі температури під час обробки продукту, що робить її придатною для стерильних продуктів, таких як напої для тривалого зберігання. Проте, оскільки воно може вступати в реакцію з їжею,

воно потребує покриття поверхні, а його контейнери часто потребують отвору для доступу до речовини. Жерстяна пластина для банки для їжі та напоїв мають товщину 0,15-0,49 мм і мають покриття з обох сторін використовується як «покриття» поверхонь, що контактують з молоком і молочними продуктами. Хоча олово розчиняється в молоці, воно не забруднює його. Цей метал надто м'який, щоб використовувати його в будь-якій техніці. Оловяне покриття не довговічне, тому що воно легко стирається під дією корозії, стирання та інших факторів. Але повторне лудіння є простою операцією. Щоб збільшити термін придатності та сприяти експорту, етнічні індійські кондитерські вироби на основі молока, такі як хоа, расоголла, гулабджамун, расомалаї, панір, чхана та топлене масло, упаковують у жерстяні контейнери. Для пакування топленого масла зазвичай використовуються лаковані жерстяні контейнери об'ємом від 1 до 15 л.

13.1.6. Нікель і сплави

Нікель і сплави: нікель використовується для покриття поверхонь чанів для пастеризації, охолоджувачів та інших поверхонь, що контактують з молоком/молочними продуктами. Ні-сплав використовується в морозильних камерах фрізерів для морозива, а також виготовлення циліндрів і плунжерів гомогенізаторів. Хоча він найбільш розчинний у молоці серед молочних металів, він лише незначно впливає на смак молока. Він лише слабо отруйний. Сплав заліза робить його дуже міцним, і з ним важко працювати під час виробництва. Цей метал, навпаки, значно довговічніший, ніж луджене покриття, але коштує дорожче. Цей метал роз'їдає молочна кислота, але не роз'їдають лужні пральні порошки. Найсуттєвішим недоліком використання цього металу є його вартість дорожча за хром і олово.

13.1.7. Хром і його сплави

Хром і його сплави: він краще підходить для покриття різного обладнання. Найчастіше використовується на поверхнях, що контактують з молоком та

молочними продуктами. Цей метал не забруднює та стійкий до корозійної дії кислотних і лужних миючих засобів. Найважливішою особливістю цього металу є те, що він надзвичайно дорогий.

13.2. Неметалеві матеріали

Скло, гума, пластик та інші неметалеві матеріали широко використовуються в молочному секторі.

13.2.1. Скло

Скло: зазвичай використовується, коли видимість продукту критична. Через його крихкість і крихкість його потрібно ще раз захистити зовнішніми трубами з відповідного металу. Воно також використовується в рівнях резервуарів для зберігання молока, оглядових і освітлювальних стеклах. Тим не менш, в деяких випадках його можна використовувати як внутрішню обшивку резервуарів для зберігання або труб. Скло має бути без осколків. Рекомендується заміна скла прозорими альтернативами, такими як Perspex (поліметилметакрилат) або полікарбонат.

13.2.2. Пластмаси

Пластмаси: пластмаси мають широкий спектр застосування і поділяються на два типи: термопласти та термореактивні пластмаси. Термопласти створюють за допомогою процесу, відомого як додаткова полімеризація. Через меншу молекулярну структуру вони є рідинами при вищих температурах і легко кристалізуються при низьких температурах. Вони часто чутливі до органічних рідин. Політетрафтористий етилен, поліетилен, полівенілхлорид, акрилонітрилбутадієнстирол, ацетатбутират целюлози та інші є типовими товарами, які використовуються в молочному бізнесі. Ущільнення валу насоса виготовлені з політетрафтористого етилену. Термотверді пластмаси, з іншого боку, мають у своїй структурі перехресні зв'язки і зазнають необоротних змін при нагріванні. У результаті вони не підлягають переробці. Ємності для

зберігання з армованого волокном пластику, епоксидне скло, скло, армоване поліефіром, пластикові шестерні, фенолформальдегід і еластomers, такі як полібутадієн і поліхлоропрен (неопрен), є популярними товарами, що використовуються в молочному секторі. Епоксидні смоли використовуються як клей для пластикових або навіть металевих частин обладнання, але температура не повинна перевищувати 100–180°C. Пластик широко використовується для виготовлення певних труб і гнучких трубок, а також як пакувальний матеріал. Поліпропіленові труби і трубки повинні бути харчової якості і не передавати неприємних запахів. Його більш гладка поверхня забезпечує менше перешкод для руху рідини та легка. Він повинен бути більш стійким до миючих засобів. При цьому він має меншу термостійкість і найбільш постійні нагрівання. Тоді як водні розчини менш ефективні для змочування, жири більш ефективні. Це може спричинити проникнення жиру на поверхню. Його можна екстрагувати, і якщо його не екстрагувати, на поверхні пластичної речовини з'являється прогірклий запах внаслідок розкладання жиру. Наслідки можуть включати зміну кольору, розвиток тріщин, постійні спотворення форми, бактеріальне забруднення крихтих щілин і молочні плями, спричинені виділенням пластифікатора. Ферментовані продукти, такі як дахі, йогурт, кефір і кумис, зазвичай упаковуються в контейнери з міцного полістиролу (HIPS) і поліпропілену для продажу та мають короткий термін зберігання. Морозиво здебільшого пакують у багаторазовий пластик, але рідко використовують сталеві банки. Багаторазові банки для морозива являють собою циліндричні жерстяні банки з припаяними свинцем кришками та закругленими краями. Морозиво (зокрема, «Gelato») часто пакують у багаторазові контейнери з нержавіючої сталі, щоб покращити демонстрацію в магазинах, які займаються черпанням.

13.2.3. Гума та прокладки

Гума та прокладки. Найбільш часто використовуваними синтетичними каучуками є неопрен, нітрil, бутил, силікон, фтореластомер або вітон для

ущільнень або прокладок. Ці матеріали не вступають у реакцію з молоком або молочними продуктами та забезпечують герметичність з'єднань. Прокладки використовуються для запобігання витоку між двома металевими поверхнями. Крім гнучкості, молочний сектор вимагає від них жиростійкості, а також стійкості до миючих і дезінфікуючих засобів. Тверда гума має міцність на розрив 70-100 МПа і її теплопровідність близько 0,4 Вт/мК. У таких застосуваннях, як прокладки пастеризатора, вони також повинні витримувати певну кількість тепла. Фітинги з нержавіючої сталі, прокладки колодязів, молочні насоси, вершковіддільники, гомогенізатори, діафрагмові клапани та інші продукти використовуються в молочному секторі. У молочній промисловості зазвичай використовуються наступні продукти та їх межі термостійкості: нитрильний каучук (130 °C), бутилкаучук (140 °C), EPDM (165 °C), силіконова гума (175 °C) і Viton (180 °C).). Щоб зберегти прокладки на місці, використовується кілька способів. Зазвичай використовуються клеї, прокладки та механічні процедури. Для закріплення прокладок на місці під час використання клею та цементу для прокладок необхідний певний процес. Це іноді обмежує їх використання в умовах високої температури. Прокладки повинні зберігатися в холодному сухому місці. Їх не слід піддавати впливу озону, як при електродуговому зварюванні.

13.2.4. Деревина

Деревина: зазвичай не рекомендується використовувати деревину через її пористість і вразливість до атаки мікробів. В основному використовується як будівельний матеріал. Щоб зменшити зараження шкідниками та ріст цвілі, а також утворення мікотоксинів, деревину, яка контактує з їжею, часто обробляють пестицидами та фунгіцидами. Їжу, що контактує з деревиною, слід перевіряти на наявність залишкової кількості цих фунгіцидів і пестицидів. Дерев'яні чани та полиці служать резервуаром мікробіологічного біорізноманіття, що сприяє найвищій якості, безпеці та характеру молочних продуктів. Крім того, природні біоплівки, які ростуть на поверхнях твердої

деревини, нешкідливі та здатні пригнічувати та обмежувати імплантацію патогенів за допомогою механізмів, які зараз досліджуються. Також було показано, що деревину важко замінити іншими синтетичними матеріалами як інструмент для регулювання вологості сиру та льоху.

13.3. Оздоблення поверхонь молочного обладнання

Для поверхонь, що контактують з харчовими продуктами, найчастіше використовується нержавіюча сталь (80-150 зернистість). Усі поверхні, включаючи виготовлені, зварні та паяні з'єднання, мають бути принаймні такими ж гладкими, як покриття (зернистість 150), і не мати вибоїн, складок, тріщин, розломів та зміщень у кінцевій виготовленій формі відповідно до санітарних стандартів та рекомендації Міністерств сільського господарства. Шорсткість поверхні пов'язана з можливістю очищення поверхонь з нержавіючої сталі в цілому, причому більш гладкі поверхні вважаються більш чистими.

Свіже молоко є чудовим культуральним середовищем для мікробної флори, яка може контамінувати кінцевий продукт. Як наслідок, виробництво молока та молочних продуктів підлягає надзвичайно суворому регулюванню. Матеріали, які використовуються у виробництві молочного обладнання, відіграють важливу роль у санітарному проектуванні та підтримці гігієни. Інженерні матеріали, які в основному використовуються на заводах з переробки молока та молока, це залізо, сталь, нержавіюча сталь, мідь, алюміній, олово та його сплави, скло, гума, пластик, дерево тощо, але ці матеріали мають деякі недоліки на поверхнях, що контактують з молоком, зокрема розвиток сторонніх присмаків, зміна кольору товарів, корозія посудин і утворення небезпечних хімічних речовин. Для досягнення цих цілей нержавіюча сталь часто є найбільш економічно ефективним і практичним матеріалом для технологічного обладнання. Найвідповідніший сорт нержавіючої сталі слід вибирати на основі потреб окремого застосування. Сьогодні в молочному обладнанні використовується нержавіюча сталь, оскільки її легко мити та дезінфікувати, а

також вона не реагує з молочною кислотою, що утворюється під час сквашування молока. Високі санітарні вимоги можливі на всіх етапах використання.

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 відбулася 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. Технологія отримання та первинного оброблення молока : підручник / О. В. Кочубей-Литвиненко, Н. М. Ющенко ; Нац. ун-т харч. технол. – Київ : НУХТ, 2013. – 211 с.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Цехмістренко С. І., Кононський О. І. Біохімія молока та молокопродуктів : навч. посібник. Біла Церква : Білоцерк. кн. ф-ка, 2014. 168 с.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Навчальний посібник з інноваційних технологій та обладнання – це книга, яка надає читачеві уявлення про складні, але дуже важливі процеси, про які йому маловідомо або зовсім невідомо, але знати потрібно по роду своєї практичної діяльності. Важливим є крок, який налаштовано на спробу відкриття нових знань, тим самим розширюючи світогляд на явища, за якими криється ціла галузь промисловості, такої як харчова. Особливістю навчального посібника є те, що його побудовано структурно від сировини до виробництва різноманітних молочних продуктів, їх заміни на вироби з рослинної сировини та впливу молочної індустрії на навколишнє середовище.

Останнє відіграє одну з переконливих ролей на природному ландшафті, що навіть забруднення повітря, води і пасовиськ вважається неприпустимим завдяки збільшення поголів'я крупної рогатої худоби, та тварин, здатних давати споживачам чудодійний продукт – молоко. Хотілось би побачити як людство впорається без молока, йогурту, сметани, вершків, сирів м'яких і твердих, морозива та багато інших молочних продуктів функціонального призначення. Автори навчального посібника вважають, що подібні думки на тлі забруднень від індустріальних виробництв, гірничо-вугільних та енергетичних промислових об'єктів не можуть впливати на екологічних форумах різного рівня. Стверджується, що під впливом розвитку науки і пізнання біосфера має стати ноосферою, тобто цариною розуму, де панують закони мудрості й гармонії. Академік В. І. Вернадський вважав, що ноосфера – це такий стан біосфери, в якому мають виявитися розум і спрямована ним праця людини як нова, небувала на планеті, геологічна сила.

Молоко і молочні продукти для більшості населення Землі є одними з провідних харчових продуктів, тому на нашу думку настав час відповідального ставлення до таких продуктів, їх збереження ще на стадії виробництва. Таке можливо завдяки сучасним технологіям і обладнанню, які ми називаємо інноваційними. Завдяки впровадженню, інколи на перший погляд, фантастичних

технологій, наприклад, високого тиску, ультразвуку, ультрафіолетового опромінення, застосування електромагнітних коливань, хвильового нагріву та замороження, радіаційного опромінення та унікальних явищ фільтрації, ультрафільтрації, зворотного осмосу можливі визначення непередбачуваних фізико-хімічних перетворень в вихідній сировині і створення принципово нових якісних продуктів харчування як для широких верст населення, так і продуктів функціонального призначення для покращення стану здоров'я та поповнення людського організму корисними лікувальними компонентами, що присутні у товарних молочних продуктах.

Навчальний посібник – це опис комплексу не тільки сучасних технологій та обладнання у виробництві багаточисельної номенклатури харчових молочних продуктів, але і у окремих випадках вказівки на фізико-хімічні механізми, що призводять до виробництва якісної молочної продукції, які полюбляють споживачі. Ми ставили за мету наповнити Посібник такою інформацією, строк давності якої, як правило, не перевищує 5–6 років, про що свідчать наведений після кожного розділу перелік початкової та іноземної літератури. На нашу думку це дозволяє створити розуміння того, що наукова та конструкторська думка не застоюється, відчувається прогрес у кожній галузі виробництва. Окремі розділи супроводжуються ілюстративним матеріалом інноваційного обладнання для молочного виробництва, роботизовані рішення як конвеєрного призначення так і на рівні пакувальних технологій. Сьогодні важко уявити виробництво без належної сучасної механічної техніки, автоматизації технологічних процесів та якісного контролю технологічних процесів. З іншого боку, попереду застосування нанотехнологій, націлених на створення унікальних процесів у молочному виробництві на рівні світових досягнень. Навчальний посібник має дати першу відповідь на такі процеси, з тим щоб у подальшому для тих фахівців які працюють або будуть працювати у молочному виробництві були створені орієнтири для творчого підходу у вирішенні технологічних проблем з урахуванням екологічної безпеки виробництва та забезпечення 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 сублімаційна 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-ОР2Ч. URL: <https://www.kmbp.com.ua/produksiya/rishennia-dlia-molochnoi-promyslovosti/sushilni-ustanovki/sushyl-na-ustanovka-a1-or2ch> (дата звернення: 10.02.2025).
32. Сушильна установка. URL: <https://www.kmbp.com.ua/produksiya/rishennia-dlia-molochnoi-promyslovosti/sushilni-ustanovki/sushyl-na-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 сублімаційна сушильна машина з нержавіючої сталі для продажу сушених овочів квітів трав кокосового молока сублімаційна 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. Ляна олія: склад, використання, користь. URL: <https://fitomarket.com.ua/ua/fitoblog/lnjanoe-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., & Полєвода, 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 : «Міськдрук», 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., Górská-Horczyczak, 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
Головко М. П., Семко Т. В., Головко 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., Samnamnim, 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. Головка М. П., Власенко І.Г., Головка 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., 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>
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., Kopyiko, 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-Cabazon, 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., Верхоланцева, В. О., & Верхоланцева, В. А. (2020). Виробництво вершкового масла в масловичоварів 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 борошняних 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/10.529.10.3390/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., ... & Aït-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/10.15587/1729-4061.2020.200026>

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., Gelmessu, 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. 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.
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. технолог., 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. технолог. 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. технолог. – 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 : Компринт, 2015. 293 с.
209. Скорченко Т. А., Грек О. В. Технологія дитячих молочних продуктів : навч. посібник. Нац. ун-т харч. технолог. 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. технолог. 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. технолог. 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. технолог. 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 : Компринт, 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 солодощів : 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 зерновою 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.khmnmu.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.khmnmu.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. Є., Кухарук, Р. М., Маслова, 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. Lipysh, 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)

Піоваров 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. Піоваров
Комп'ютерна верстка О.С. Обдимко

Оформлення згідно зі стандартами книговидавання

Підписано до друку _____.2025 р. Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум.-друк. арк. 21,05. Обл.-вид. арк. _____.
Наклад 50 прим. Зам. № ____

Видавництво ФОП Обдимко,
м. Дніпро, вул. Уральська, 17
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру виготовлювачів і
розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 6033 від 20.02.2018 р.
Віддруковано ФОП Обдимко
49008, м. Дніпро, вул. Уральська, 17