

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет фармацевтичних технологій та менеджменту
Кафедра біотехнології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПЕРЕРОБКИ МОЛОЧНОЇ
СИРОВАТКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОЛОГІЧНО ЦІННИХ
ПРОДУКТІВ»**

Виконав: здобувачка вищої освіти групи ПБтм23(1,10з)-01а
спеціальності: 162 Біотехнології та біоінженерія
освітньої програми Промислова біотехнологія
Олена КАНІВЕЦЬ

Керівник: доцент закладу вищої освіти
кафедри біотехнології, к. фарм. н., с.н.с. Наталія ДВІНСЬКИХ

Рецензент: Доцент закладу вищої освіти кафедри
біотехнології, біофізики та аналітичної хімії Національного
технічного університету «Харківський політехнічний
інститут», к. б. н., доц. Бєлих І.А.

АНОТАЦІЯ

В роботі досліджено властивості молочної сироватки, напрями її утилізації та стратегії валоризації, перспективи застосування продуктів переробки, проаналізовано основні тенденції ринку продуктів переробки сироватки в Україні та за рубежом. Проведено аналіз способів переробки молочної сироватки, в тому числі біотехнологічними методами та окреслено асортимент основних продуктів переробки. Виявлено перспективи створення білкових продуктів з високою харчовою цінністю, стабільністю, функціональністю та відповідністю сучасним вимогам здорового харчування. Запропоновано технологічну схему для організації вітчизняного виробництва концентрату сироваткового білка. Робота складається з вступу, трьох розділів, висновку. Загальний обсяг роботи – 58 стор., кількість таблиць 6, рисунків 6, джерел літератури 33, додатків 1.

Ключові слова: молочна сироватка, концентрат сироваткових білків, мембранні технології, електродіаліз, біоактивні пептиди

ANNOTATION

The study investigates the properties of milk whey, its utilization pathways, and valorization strategies, as well as the prospects for applying whey processing products. It analyzes the main market trends for whey-derived products both in Ukraine and internationally. An analysis of whey processing methods, including biotechnological approaches, is conducted, and the range of key processed products is outlined. The research identifies prospects for developing protein products with high nutritional value, stability, functionality, and compliance with current healthy nutrition requirements. A technological scheme is proposed for organizing domestic production of whey protein concentrate. The work consists of an introduction, three sections, a conclusion. Total volume of work 58, number of tables 6, figures 6, sources of literature 33, appendices 1.

Key words: milk whey, whey protein concentrate, membrane technologies, electro dialysis, bioactive peptides

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Розділ 1 Огляд літератури.....	6
1.1 Проблема утилізації та ринок продуктів переробки молочної сироватки	6
1.2 Основні способи переробки молочної сироватки	9
1.3 Продукти, які отримують з молочної сироватки	13
1.4 Біоактивність пептидів, отриманих із сироватки.....	15
Висновок до I розділу	17
Розділ 2 Об'єкти та методи досліджень.....	19
2.1. Молочна сироватка	19
2.2. Вимоги до сироватки молочної	21
2.3. Основні та другорядні сироваткові білки.....	25
Висновок до 2 розділу.....	30
Розділ 3 Експериментальна частина.....	31
3.1 Біотехнологічні підходи переробки молочної сироватки.....	31
3.2 Утилізація молочної сироватки та способи зменшення її негативного впливу на довкілля	32
3.3 Напрями валоризації молочної сироватки.....	35
3.4 Отримання концентратів сироваткових білків – перспективний напрям переробки молочної сироватки.....	39
3.5 Розробка схеми технологічного процесу отримання демінералізованого концентрату сироваткових білків (КСБ).....	40
3.6 Способи подальшої переробки концентрату сироваткових білків ..	46
Висновок до 3 розділу	51
Висновки.....	52
Список використаних джерел.....	54
Додаток. Публікації за темою роботи.....	59

ВСТУП

Актуальність теми. Розроблення технологій раціонального використання складових молочної сировини є актуальним завданням в індустрії функціональних продуктів харчування, з огляду на необхідність насичення ринку продукцією відповідно до сучасних тенденцій у харчуванні, зокрема, низьколактозних продуктів та продуктів, збагачених сироватковими білками. Останні дані наукових досліджень підтверджують вагомий вплив складових молока, як казеїн, сироваткові білки, пептиди та мінерали молочних продуктів на покращення стану здоров'я людей, які страждають на порушення обміну речовин та серцево-судинні захворювання. Економічна доцільність та потреби ринку спонукають до розширення асортименту продукції відповідно до сучасних тенденцій у харчуванні. Тому, доцільним є дослідження, спрямовані на розробку та вдосконалення технологій промислового перероблення вторинної молочної сировини для забезпечення біологічної повноцінності і ефективності харчового раціону широкого кола споживачів.

Мета дослідження. Дослідження способів перероблення молочної сироватки для розкриття перспектив її валоризації та створення вітчизняних конкурентоспроможних функціональних продуктів для біологічно повноцінного харчового раціону.

Завдання дослідження:

- провести аналіз джерел літератури щодо сучасних способів перероблення молочної сироватки, напрямів застосування продуктів переробки в секторах спортивної підготовки, охорони здоров'я, харчування тощо;
- проаналізувати основні тенденції ринку продуктів на основі молочної сироватки в Україні та світі;
- розглянути технології переробки молочної сироватки, в тому числі тих, які відносяться до біотехнологічних;

- визначити найбільш перспективні технологічні прийоми отримання продуктів переробки молочної сироватки, їх очистки та отримання продукту в доцільній та зручній для споживання формі;
- запропонувати орієнтовну технологічну схему для організації вітчизняного виробництва біологічно цінного продукту на основі молочної сироватки – концентрату сироваткових білків;
- визначити перспективні напрями подальшої переробки отриманих продуктів з молочної сироватки.

Об'єкти дослідження: молочна сироватка та продукти її переробки.

Предметом дослідження є сучасні технології утилізації та валоризації молочної сироватки, шляхи оптимізації їх використання, ринок продуктів на основі складових молочної сироватки та їх використання в харчовій, фармацевтичній, сільськогосподарській та інших галузях.

Методи дослідження. Бібліосемантичні методи аналізу інформації з наукових публікацій та інших джерел, абстрактно-логічний метод узагальнень та висновків, технологічний метод для розробки та моделювання технологічної схеми виробництва продукту на основі продуктів переробки молочної сироватки.

Практичне значення отриманих результатів. Проведений у роботі аналіз сучасних тенденцій у використанні продуктів переробки молочної сироватки в різних галузях, у проведенні технологічних процесів їх отримання, запропонована технологічна схема виробництва концентрату сироваткових білків можуть бути використані для організації вітчизняного виробництва високоякісного продукту для подальшого використання в складі харчових або фармацевтичних продуктів, у продуктах спортивного харчування, або для подальшої переробки для отримання високоочищених сироваткових ізолятів, окремих білків та біоактивних пептидів, що сприятиме розширенню асортименту функціональних продуктів, підвищенню економічної ефективності молокопереробних підприємств і розвитку екологічно сталого виробництва.

Апробація результатів дослідження і публікації.

Результати досліджень опубліковані в матеріалах конференції:

Канівець О.Г. Способи модифікації білково-вуглеводних складових в технологіях переробки молочної сировини / Канівець О.Г., наук. кер.: Двінських Н.В. // Актуальні питання створення нових лікарських засобів: мат. XXXI міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів (23-25 квітня 2025 р., м. Харків). – Харків: НФаУ, 2025. – С. 177-178

Зроблено доповідь на тему: «Раціональні способи переробки молочної сироватки для отримання цінних продуктів» на XXXI міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів «Актуальні питання створення нових лікарських засобів» 23-25 квітня 2025 р., м. Харків.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.

Робота складається з вступу, трьох розділів - огляду літератури, об'єктів та методів дослідження, експериментальної частини, висновку. Загальний обсяг роботи 58 стор., кількість таблиць 6, рисунків 6, джерел літератури 33, додатків 1.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Проблема утилізації та ринок продуктів переробки молочної сироватки.

Близько 80–90% молока, що надходить на підприємства з виробництва сиру, перетворюється на сироватку. У 2018 році оприлюднено дані про те, що щорічно у світі утворюється 180–190 млн. т сироватки, з яких 100 млн. т становить сирна сироватка. З урахуванням щорічного приросту на 1–2%, наразі обсяг може досягати 187–206 млн. т, а до 2030 року, за прогнозами, зросте до 203–241 млн. т. У ЄС виробляється 40 млн. т сироватки, з яких 13 млн. т — надлишок. Великі обсяги відходів сироватки створюють екологічні загрози, що вимагає очищення стічних вод.

Попит на коагульовані продукти, такі як грецький йогурт, зріс утричі, спричинив збільшення відходів сироватки на 1–2% щороку. Раніше сироватку скидали на ґрунт, у водойми, накопичували в резервуарах або використовували як добриво через її поживні речовини. Проте високі показники БСК та ХСК призводять до забруднення води та загибелі водних організмів. Нові нормативи обмежили такі методи утилізації, підвищивши витрати на очищення та стимулюючи ринок продуктів із сироватки. Зростання екологічної свідомості спонукало галузь до ефективнішого управління відходами та впровадження інноваційних методів переробки. [1, 4, 26]

Сироватка (також відома як лактосироватка) - це рідина, отримана після відділення молочного жиру та казеїну від незбираного молока. Вона є цінним побічним продуктом молочної промисловості, який містить білки, лактозу, вітаміни та мінерали. Молочна промисловість стикається з проблемами його утилізації та завжди шукає прості та економічні рішення. Найкращим підходом є перетворення сироватки на деякі корисні продукти з доданою вартістю. Поєднання знань, заснованих на біоорганічній хімії та

біотехнологічних методах, допомогло перетворити сироватку на продукти з доданою вартістю.

Сироватка в різних формах використовується для виробництва хліба, хлібобулочних виробів, закусок, напоїв, кондитерських виробів та інших поживних харчових продуктів. Сироватку також використовували як субстрат для росту різних мікроорганізмів, що додатково допомагає у розвитку корисних продуктів, таких як молочна кислота, лимонна кислота, біогаз тощо. [1, 2, 21, 26, 31]

Використання продуктів із молочної сироватки зросло завдяки їхнім корисним для здоров'я компонентам і статусу «загальноновизнано безпечних» (GRAS) за оцінкою регуляторних органів. Останнім часом попит споживачів на поживні речовини з сироватки сприяв появі економічно вигідних функціональних продуктів і нутрицевтиків. Ці продукти багаті на вітаміни, мінерали, легкозасвоювані білки, незамінні та сірковмісні амінокислоти, які підтримують метаболічні функції організму. [1-4]

Ринок продуктів переробки сироватки активно розвивається завдяки зростаючому попиту на функціональні та біоактивні інгредієнти в харчовій та фармацевтичній промисловості. В Україні також спостерігається позитивна динаміка: у 2023 році країна значно наростила експорт молочної сироватки, кисломолочних продуктів і морозива. Зокрема, експорт сироватки зріс на 28%, а грошова виручка — на 31% порівняно з попереднім періодом, що свідчить про стабільний попит на українську молочну продукцію на світових ринках, особливо в ЄС, Китаї, В'єтнамі та країнах Близького Сходу. Цей тренд підкреслює важливість розвитку експорту як складової економіки молочної галузі. [1-3, 19, 20, 28]

Глобальний ринок сухої сироватки зазнає значного тиску, що пов'язано з коливаннями виробництва, змінами в споживчих перевагах, регуляторними вимогами, а в нашій країні ще й з нестабільністю умов, пов'язаних з воєнним станом. На рис. 1.1 наведено динаміку експорту сухої сироватки та динаміку запасів сироватки у виробників за останні кілька років.

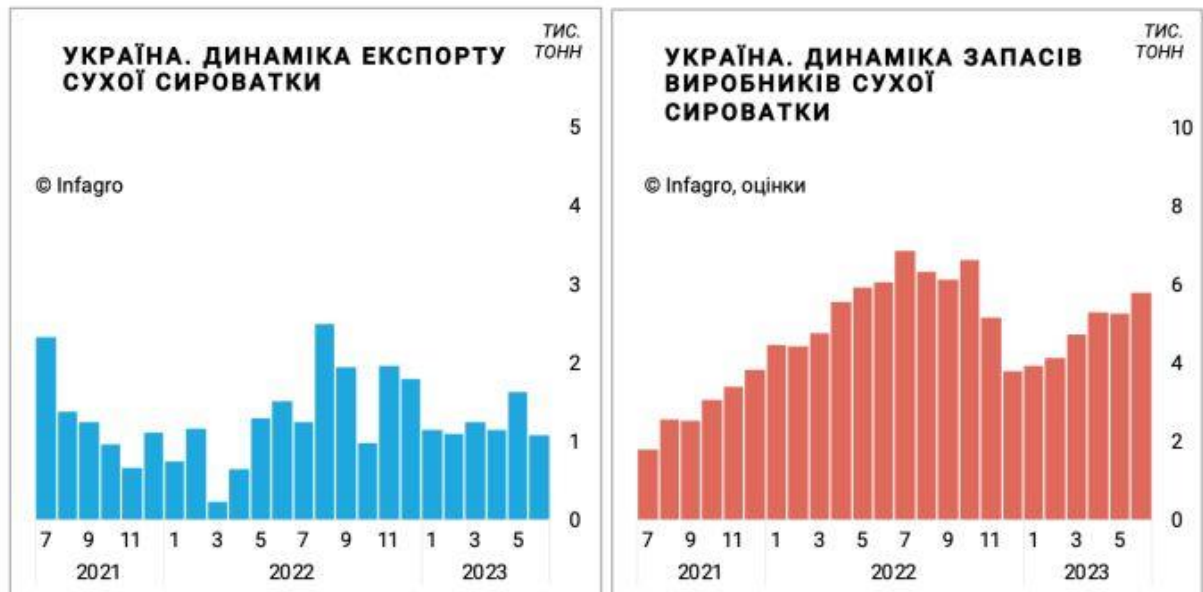


Рис. 1.1. Динаміка експорту сухої сироватки та запасів сироватки у виробників [20]

Огляд ринків сухої сироватки показує, що виробники все більше орієнтуються на підвищення якості продукту, впровадження інноваційних технологій переробки і оновлення асортименту. Зокрема, застосування мембранних технологій, ультрафільтрації, ферментації та хроматографії дозволяє отримувати концентрати, ізоляти та гідролізати сироваткових білків із заданими функціональними властивостями. [20]

Досвід багатьох країн, наприклад, Бразилії демонструє, що більшість молочних підприємств використовують сироватку як сировину для виробництва напоїв на її основі (60%), рікоти (20%), концентратів (15%) та молочних сумішей (5%). Проте значна частина підприємств (27%) все ще не використовує сироватку для виробництва харчових продуктів, що призводить до її утилізації як відходу або корму для тварин. Це вказує на потенціал для розширення ринку і підвищення ефективності використання сироватки. [3]

На іншому краї світу, наприклад, в Новій Зеландії, компанія «Daisy Lab» успішно масштабувала виробництво сироватки, ідентичної тваринній, що відкриває нові перспективи для створення альтернативних білкових продуктів із високою біодоступністю та стабільністю. [19]

Це обумовлює зростання інновацій у сфері виробництва сироваткових білків, що відповідають сучасним вимогам споживачів і ринку.

Важливим аспектом успішного розвитку ринку є контроль якості сироватки, що включає фізико-хімічні та мікробіологічні аналізи. Це забезпечує стабільність і безпеку кінцевої продукції, що особливо важливо для експорту і відповідності міжнародним стандартам. [1-3, 19, 20, 28]

Отже, ринок продуктів переробки сироватки демонструє позитивні тенденції зростання, інновацій і розширення експорту. Інвестиції у нові технології, стандартизація якості та диверсифікація продуктового портфеля є ключовими факторами подальшого розвитку галузі на глобальному та національному рівнях.

1.2 Основні способи переробки молочної сироватки

Сироватка має кілька екологічних ризиків, якщо її викидати як відходи у водотоки. Сучасна переробка сироватки дозволяє утримувати широкий спектр продукції та зменшувати екологічне навантаження на підприємство.

Існує безліч методів її утилізації для перетворення на цінні та високопоживні продукти.

Основні напрями та методи переробки молочної сироватки:

Теплова обробка

- Охолодження та пастеризація для збереження якості при зберіганні та транспортуванні.
- Термічна денатурація для виділення білків [1, 15, 22].
- Омічне нагрівання [1, 2]

Відцентрові методи

- Сепарування для видалення жиру, дрібних сирних часток, коагульованих білків, кристалів цукру [1, 15, 22].

Концентрування

- Згущення (концентрування сухих речовин) у випарних апаратах.

- Сушка (барабанна або розпилювальна) для отримання сухої сироватки [1, 15, 22].

Мембранні технології

- Ультрафільтрація та мікрофільтрація для виділення концентрату сироваткових білків (КСБ) та інших компонентів.
- Зворотний осмос для попереднього концентрування [1, 2, 15, 22].
- Молекулярно-ситова фільтрація, термодинамічне виділення білків молока біополімерами дають ультрафільтрат і безказеїнову фазу [8, 15]

Мембранні методи поділяються на два основні типи: гіперфільтрація (мікрофільтрація, ультрафільтрація, зворотний осмос) та електродіаліз. До них також умовно відносять іонний обмін, гель-фільтрацію та сорбцію-десорбцію. Ці методи базуються на властивостях молочної сироватки як гетерогенної системи, де компоненти вирізняються селективністю за молекулярною масою, розмірами та іонною силою.

Найпоширенішими є гіперфільтрація, електродіаліз і зворотний осмос, тоді як іонний обмін і гель-фільтрація поки що менш застосовні.

Інші фізичні методи

- Ультразвукова обробка може бути використана для модифікації функціональних властивостей сироваткових білків. [2]

Біологічні методи

- Біологічна обробка молочної сироватки покращує її поживну цінність шляхом збагачення корисними речовинами та створення спеціалізованих продуктів.
- Використання для вирощування дріжджів для синтезу білків, вітамінів, ферментів, жирів.
- Гідроліз лактози ферментами.
- Ферментативне розщеплення молочних білків до пептидів та вільних амінокислот.
- Мікробна переробка лактози у молочну кислоту або етиловий спирт .
- Анаеробне зброджування сироватки [1, 8, 15, 22].

Комбіновані методи (мембранні та фізичні)

- Демінералізація для отримання демінералізованої сироватки, яка використовується в дитячому харчуванні [1, 4, 8, 15].

Демінералізовувати за допомогою електродіалізу можна як сироватку, наприклад кисло-солодку, так і інші продукти переробки, як УФ-перміат материнського розчину після кристалізації лактози, концентрат сироваткового протеїну, ізолят сироваткового білка. [4]

Нове джерело прибутку та додаткового харчування — демінералізований сироватковий порошок. Це дуже корисний продукт, який використовується в багатьох продуктах харчування та молочних продуктах.

Демінералізацію сироватки проводять комбінуванням процесів електродіалізу (ЕД) і розпилювальної сушки. Електродіаліз — це електричний керований процес, який видаляє мінеральні речовини та кислоти з рідкої сироватки. Після цього рідка сироватка перетворюється на концентрат і сушиться шляхом розпилювання до стану демінералізованого сироваткового порошку.

Рівень демінералізації традиційно становить 40 %, 50 %, 70 % і 90 %. Однак електродіаліз за допомогою більш сучасного обладнання та технологій може запропонувати більш глибокі рівні знесолення, щоб відповідати більш суворим критеріям мінерального профілю. [4]

Переваги електродіалізу: зниження зольності, регулювання кислотності, стандартизація органолептичних властивостей, покращення сенсорних властивостей, особливо смаку кислої сироватки, підвищення конкурентоспроможності продукту, що гарантує додатковий прибуток, низьке екологічне навантаження виробничого циклу. [4]

Нетрадиційні методи

- Екструзія з подальшим використанням відходів зернопереробних виробництв, таких, наприклад, як пшеничні висівки, які зволожують молочною сироваткою.

Екструзія — це комплексний термо-механічний процес, що включає змішування, стискування, гомогенізацію і формування продукту під високою температурою і тиском. Вона дозволяє отримувати продукти з заданими фізико-хімічними властивостями, покращує структуру, збільшує термін зберігання та знижує відходи. Використання зернових відходів у поєднанні з сироваткою підвищує харчову цінність і розширює асортимент функціональних продуктів, сприяючи сталому розвитку молочної та зернопереробної галузей. [8]

Використання у харчовій промисловості

- Виробництво лактози, безлактозної сироватки, концентратів білків, харчових добавок, напоїв, кондитерських виробів, спеціальних продуктів із підвищеним вмістом жиру. [1, 15, 21-24]

Аналіз способів переробки виявив таке: молочна сироватка переробляється за допомогою різноманітних методів, серед яких теплові, відцентрові, біологічні та мембранні технології є найпоширенішими. Теплові та відцентрові методи очищують сироватку від сирних часток і знижують вміст жиру для захисту мембран під час фільтрації, такі методи також застосовують для пастеризації, сепарування жиру і видалення нерозчинних домішок. Мембранні процеси, такі як ультрафільтрація, нанофільтрація, зворотний осмос та електродіаліз, дозволяють концентрувати білки, видаляти мінерали і лактозу, зберігаючи при цьому якість продукту. Електродіаліз ефективно демінералізує сироватку, покращуючи її органолептичні властивості та підвищуючи чистоту лактози. Біологічні методи, зокрема ферментація, сприяють збагаченню сироватки корисними речовинами та отриманню специфічних продуктів. Розпилювальна сушка є основним способом отримання порошкових продуктів із сироватки. Сучасні технології переробки дозволяють ефективно використовувати цінні компоненти сироватки, зменшуючи відходи та розширюючи асортимент харчових і технічних продуктів.

На рис. 1 наведено основні способи переробки молочної сироватки та продукти, які мають комерційне значення. [1-4]

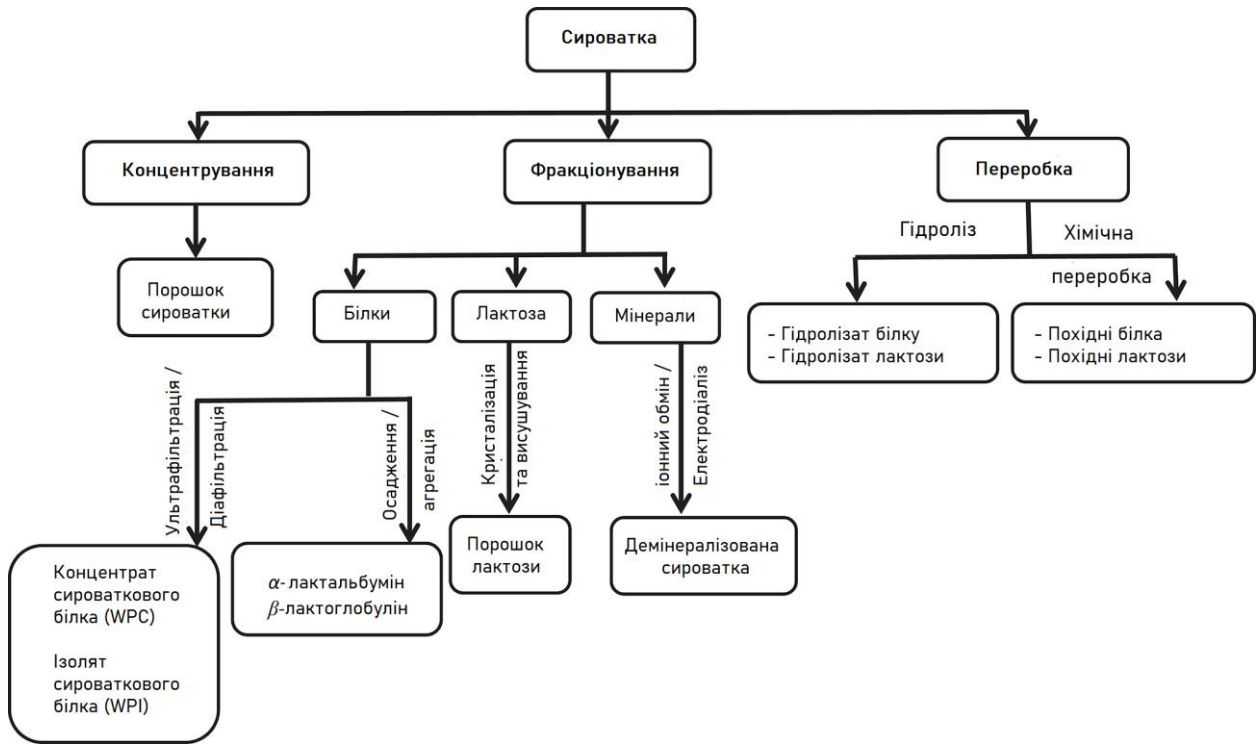


Рис. 1.1 Основні напрями переробки молочної сироватки. Адаптовано з [1].

1.3. Продукти, які отримують з молочної сироватки.

Нами було проведено огляд літературних джерел та інших ресурсів інтернету щодо асортименту продуктів, які отримують на основі молочної сироватки та напрямів їх застосування. [1, 2, 17-20, 31-33]

Короткий огляд продуктів, отриманих із сироватки, наведено у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Перелік продуктів, отриманих із сироватки

Продукт	Метод отримання	Основне застосування
1	2	3
Суха сироватка	Сушка (барабанна/розпилювальна)	Харчова промисловість, корми
Демінералізована сироватка	Хімічна демінералізація	Дитяче харчування

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Концентрат сироваткових білків (сироватковий протеїн)	Ультрафільтрація, мікрофільтрація	Спортивне харчування, дієтичні продукти, інгредієнт у різних харчових продуктах
Ізолят сироваткових білків	Ультрафільтрація, діалізація	інгредієнт у різних харчових продуктах
Казеїн та казеїнат	Фракціонування	спортпиті та харчовій промисленості.
Гідролізовані білки	Гідроліз	Спортивне харчування
Лактоза	Кристалізація, фільтрація	Кондитерська промисловість, фармацевтика
Молочна кислота, спирт	Біотехнологічна ферментація	Харчова, хімічна промисловість
Безлактозна сироватка	Ферментативний гідроліз	Спеціалізовані харчові продукти
Йогурти та кисломолочні напої з додаванням сироваткових компонентів	Сквашування	Спеціалізовані харчові продукти
Сироваткове масло	Баромембранні методи	Використовується у косметичці та харчовій промисловості

Сироватку можна переробляють у різні продукти, такі як порошок сироваткового білка, концентрат, гідролізат, ізолят та інші метаболіти, застосовуючи складні технології: хроматографію, мембранні методи,

ультрафільтрацію, ферментацію та безфільтраційні підходи. Ці порошки комерційно доступні у різних формах - демінералізовані, кислі, солодкі та відновлені - з вмістом білка 11–14,5% і лактози 63–75%.

Концентрат сироваткового білка формується із сироватки з низьким вмістом жиру, містить 65–70% білка і випускається у варіантах із різним вмістом білка (35, 50, 60, 80%). КСБ є джерелом біоактивних компонентів, вуглеводів і амінокислот, зокрема лізину та сірковмісних амінокислот, що робить його цінним для діт із дефіцитом цих нутрієнтів.

Гідролізат сироваткового білка (ГСБ) характеризується високою засвоюваністю і меншою алергенністю завдяки гідролізу білків на коротші пептиди. Вміст білка у ГСБ становить 80–90%, і він широко використовується у дитячому харчуванні.

Ізолят сироваткового білка - одна з найчистіших форм, що проходить додаткове очищення для видалення лактози (<1%) і жиру, містить понад 90% білка і особливо цінується спортсменами. [1, 2, 6, 17, 18, 20, 31-33]

Фізико-хімічні властивості основних і другорядних сироваткових білків різняться за концентрацією, молекулярною масою, ізоелектричною точкою, амінокислотним складом і впливом на здоров'я. Всі вони відіграють важливу роль у підтримці організму і потрібні в різних кількостях. У наступних розділах буде детальніше розглянуто ці білки.

1.4 Біоактивність пептидів, отриманих із сироватки.

Сироваткові білки та їх похідні компоненти відіграють важливу та революційну роль у фармацевтичній продукції, продуктах охорони здоров'я та рецептурах численних функціональних харчових продуктів, крім того, ці ВП демонструють численні терапевтичні застосування у профілактиці різних захворювань [1, 2, 32]

У останні роки біоактивні пептиди, або криптиди, привернули значну увагу науковців завдяки багатому спектру властивостей. Ці пептиди є

ізолюваними фрагментами білків, що утворюються в результаті гідролізу сироваткових білків і зазвичай складаються з 2–20 амінокислотних залишків. У нативній послідовності білка їх біологічна активність прихована, але вона активується після вивільнення шляхом гідролізу протеолітичними ферментами, а також під час ферментації з використанням культур, які продукують такі ферменти. Отримані біоактивні пептиди (БАП) мають широкий спектр фізіологічних ефектів, впливаючи на серцево-судинну, імунну, нервову та шлунково-кишкову системи. На рис. 1.2 наведено огляд фізіологічних впливів БАВ на органи та системи організму.



Рис. 1.2 Фізіологічні впливи БАВ на органи та системи організму. Адаптовано з [2].

Біоактивні пептиди класифікують за походженням або фізіологічною дією, виділяючи цитомодуючі, опіоїдні, імуномодуючі та антигіпертензивні пептиди. Інгібітори АПФ, що регулюють кров'яний тиск, є однією з найбільш досліджених груп, які отримують ферментацією молока або гідролізом сироваткових білків трипсином. [1, 2, 32]

Антиоксиданти на основі сироватки стають популярними в харчовій промисловості завдяки їх безпеці та доступності. Вони діють через хелатування іонів металів, поглинання вільних радикалів та інгібування перекисного окислення ліпідів. Гідролізат ізоляту сироваткового білка алкалазою має хорошу антиоксидантну активність, а сироваткові білки,

оброблені за низьких температур, містять глутамілцистеїн, що сприяє синтезу глутатіону.

Сироватка також проявляє антимікробні властивості завдяки лактоферину, імуноглобулінам, лізоциму та лактопероксидазі. Лактоферин, зокрема, має сильні антимікробні, протипухлинні та імуномодуючі властивості. [1, 2, 32]

Крім того, гідроліз сироваткових білків утворює пептиди з опіюїдними, скорочувальними та антиноцицептивними властивостями. Сироваткові пептиди можуть зв'язувати мінерали, проявляти антиапетитні властивості та позитивно впливати на інсулінотропну відповідь.

Загалом, біоактивність продуктів із сироватки надає їм широке застосування у харчовій та фармацевтичній промисловості, як замітники яєчних білків, емульгатори, у виробництві кондитерських виробів, спортивних добавок, дитячих сумішей та функціональних харчових продуктів для профілактики різних неінфекційних захворювань, таких як рак, серцево-судинні захворювання, цукровий діабет, порушення функції кишечника, лікування ожиріння та покращення синтезу м'язів.

Висновок до I розділу

В розділі проаналізовано проблеми, пов'язані з утворенням великих обсягів відходу молокопереробної промисловості – молочної сироватки, з труднощами її утилізації та перспективами валоризації, проведено огляд стану ринку сироватки та продуктів її переробки в Україні та світі. Виявлено тенденцію до збільшення та диверсифікації ринку, основні аспекти якої охоплюють напрями від розширення асортименту продукції до збільшення кількості гравців ринку. Основне завдання - підвищення стійкості ринку та бізнесу до несприятливих зовнішніх факторів, таких як економічні та соціальні кризи, зміни попиту або перебої з постачанням.

Проаналізовано способи переробки молочної сироватки, в тому числі біотехнологічними методами та окреслено асортимент основних продуктів переробки в цьому напрямі. З'ясовано відмінності та перспективні шляхи для

отримання найбільш сучасних та корисних продуктів, як концентрати, ізоляти та біоактивні пептиди сироватки.

Виявлено, що дослідження способів переробки молочної сироватки для розробки технологій отримання біологічно цінних продуктів для вітчизняних підприємств є перспективним напрямом та має значення для вирішення проблеми утилізації великотоннажного відходу молокопереробної галузі, розвитку промисловості та поповнення вітчизняного ринку актуальними продуктами.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Молочна сироватка.

Сироватка – це каламутна світло-жовто-зелена рідина, що утворюється після коагуляції казеїну при сквашуванні молока під дією протеазного ферменту (сичежного ферменту, хімозину) або при ферментації молочнокислими бактеріями, або шляхом обробки кислотою. Сироваткові білки складають близько 20% від загального вмісту білка в молоці, на казеїн припадає близько 80%. [2]

Основним компонентом сироватки є лактоза, її вміст становить майже 75% сухої речовини або 50 г/л. Ефективне використання сироватки нерозривно пов'язане з ефективним використанням лактози. Однак, ця речовина має обмежений попит як джерело цукру в їжі чи напоях, зокрема через проблему непереносимості лактози у людей. [2]

Залежно від характеру згортання молока, сироватку класифікують на солодку (СС) та кислу (КС), які мають різний склад, що обумовлене способами виробництва кисломолочної продукції, де вона утворюється.

СС або сирна сироватка утворюється при сичужному способі виробництва сиру. КС утворюється при сквашуванні молочнокислими бактеріями, тобто при ферментації лактози в молоці до молочної кислоти, також у процесах виробництва кислого казеїну шляхом додавання кислоти. Кислотна коагуляція значно підвищує рівень кальцію через зміни рівноваги молочно-сольової системи. Низький рН спричиняє зміщення рівноваги кальцій фосфату в казеїнових міцелях до розчиненого кальцію та фосфату, що призводить до збільшення вмісту мінералів у КС порівняно з СС.

Різниця у виробництві обумовлює певні проблеми у переробці СС та КС.

Так, СС може містити залишки речовин від виробництва сиру, які можуть впливати на смак або створювати проблеми з поживною цінністю. Наприклад, глікомакропептид (ГМП) видаляють із сироватки перед

сироварінням за допомогою мікрофільтрації. Це роблять через його вплив на амінокислотний склад дитячого харчування, хоча видалення ГМП знижує вміст білка в сироватці приблизно на 20%.

Для переробки КС неможна використати мембранну фільтрацію через її складові, які впливають на поведінку лактози, зокрема на її кристалізацію.

Високий вміст мінералів у КС робить її непридатною для виробництва сироваткового білка через складнощі обробки порівняно з використанням СС.

КС має рівень рН, близький до ізоелектричної точки сироваткових білків, що призводить до підвищеного забруднення мембран білками, роблячи мембранні способи переробки непридатними для фракціонування молочних мінералів.

Термопластична та гігроскопічна природа молочної кислоти, що присутня більше в КС, ускладнює її сушіння, особливо коли вміст кислоти більше 2%.

Склад СС та КС наведено в табл. 2.1. [2, 4]

Таблиця 2.1

Склад поживних речовин сироватки

Компоненти та показники	Тип сироватки	
	Кисла сироватка	Солодка сироватка
Білок, г/л	6-8	6-10
Глікомакропептид	Відсутній	присутній
Лактоза, г/л	44-46	46-52
Мінерали, г/л	4,3-7.2	2,5-4,7
рН	4,3-5,6	5,6-7,0
Жир, г/л	0,4	5,0
Зола, г/л	8,0	5,0

СС використовують як сировину для деяких молочних напоїв, для виробництва плавлених сирів, для отримання концентратів та ізолятов сироваткових білків.

КС зазвичай використовується як корм для тварин. Відоме її використання у виробництві алкогольних напоїв шляхом ферментації лактози, що міститься в сироватці, що знижує біологічну потребу в кисні (БПК) сироватки приблизно на 75%.

Перспективним є використання КС як субстрату для виробництва біогазу, для генерації електроенергії як потенційна заміна невідновлюваних джерел енергії.

Перехід більшої частини кальцію фосфату в розчинну форму кальцію та фосфатів через низький рН може забезпечити більшу стабільність КС та продуктів, отриманих з неї. [2, 4]

2.2 Вимоги до сироватки молочної.

Вимоги до сироватки молочної регламентуються такими нормативними документами:

- ДСТУ 7515:2014. Сироватка молочна. Технічні умови. Чинний від 2014-10-23. [14]
- ДСТУ 4552:2006. Сироватка молочна суха. Технічні умови. Чинний від 2006-04-27. [13]

ДСТУ 7515:2014 визначає вимоги до молочної сироватки, отриманої при виробництві сирів, кисломолочного сиру та казеїну. Стандарт зазначає, що сфера її застосування - харчова, комбікормова, фармацевтична промисловості, а також - для технічних цілей.

За ДСТУ 7515:2014 «Сироватка молочна. Технічні умови» класифікація сироватки залежно від способу виробництва передбачає поділ на такі основні види:

- Солодка сироватка — отримується після виробництва сирів із застосуванням сичужних ферментів, при цьому рН сироватки зазвичай вище 5,6.
- Кисломолочна сироватка — утворюється при виробництві кисломолочних сирів або продуктів, де коагуляція білків відбувається за допомогою молочнокислих бактерій, рН нижче 5,3.
- Кислотна казеїнова сироватка — продукт кислотного коагулювання казеїну, який утворюється при виробництві казеїну або кисломолочних сирів.

ДСТУ 4552:2006 поширюється на суху молочну сироватку, що її виробляють із сироватки молочної або кислої згущуванням та подальшим сушінням. Сироватка призначена для промислового перероблення у харчовій промисловості, для готування сухого кормового заміниника незбираного молока та інших кормів для сільськогосподарських тварин.

Крім того, сироватку за обома стандартами класифікують за технологією сушіння: розпилювальна, плівкова, псевдозріджена (кипляча) сушка.

Правильна класифікація сироватки при її переробці є надзвичайно важливою через різницю в її складі, фізико-хімічних властивостях та технологічних характеристиках, що залежать від виду сироватки і способу її отримання. Наприклад, солодка сироватка, яка утворюється після виробництва сирів із застосуванням сичужних ферментів, має інший склад і кислотність, ніж кисломолочна сироватка, отримана внаслідок ферментації. Ці відмінності визначають вибір методів очищення, знежирення, мембранної фільтрації, теплової обробки та інших технологічних операцій.

Крім того, правильна класифікація дозволяє оптимізувати технологічні процеси, підвищити ефективність використання сироватки і мінімізувати втрати цінних компонентів, що має важливе значення для комерційної вигоди та екологічної безпеки.

Стандарти (ДСТУ) також регламентують вимоги до органолептичних, фізико-хімічних і мікробіологічних показників сироватки залежно від її виду та способу виробництва, що забезпечує якість і безпеку продукту для подальшої переробки або використання.

Вимоги для якості сироватки сухої наведено в табл. 2.2., 2.3.

Таблиця 2.2

Органолептичні показники сироватки сухої за ДСТУ 4252

Назва показника	Молочна			Молочна кисла
	Розпилюваль-ного сушіння	Плівкового сушіння	Сушіння у псевдозрід-женому шарі	Розпилюваль-ного сушіння
Зовнішній вигляд та консис-тенція	Тонкодисперсний порошок. Дозволено наявність грудочок, легко розсипчастих під впливом механічної дії	Порошок з подрібнених грудочок. Дозволено наявність щільних грудочок, легко розсипчастих під впливом механічної дії	Крупнодисперсний порошок. Дозволено наявність укрупнень	Тонкодисперсний порошок. Дозволено наявність грудочок, легко розсипчастих під впливом механічної дії
Смак і запах	Солодкувато-солонуватий, без сторонніх присмаків та запахів			Кислуватий, без сторонніх присмаків та запахів
Колір	від білого до світло-жовтого			

Основні показники і характеристики сироватки сухої за ДСТУ 4252

Назва показника	Норма для сироватки	
	молочної	молочної кислої
Фізико-хімічні показники		
Масова частка вологи, %, не більше	5,0	4,5
Масова частка лактози, %, не менше	60,0	60,0
Масова частка жиру, %, не більше	2,0	2,0
Кислотність титрована сироватки, відновленої до масової частки сухих речовин 6,5 % , °Т, не більше	20	75-95
Індекс розчинності, см ³ сирого осаду, не більше	0,8 (1,6)	0,8
Примітка 1. Масова частка білка повинна бути не меншою ніж: для сироватки молочної сухої — 10 %; для сироватки молочної кислої сухої — 7 %. Примітка 2. У дужках зазначено показник для сироватки, отриманої плівковим сушінням.		
Мікробіологічні показники		
Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1 г продукту, не більше	1·10 ⁵	
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) не дозволено у масі продукту, г	0.1	
Кількість пліснявих грибів, КУО в 1 г продукту, не більше	100	
Кількість дріжджів, КУО в 1 г продукту, не більше	50	
Патогенні мікроорганізми, в т. ч. Salmonella, в 25 г продукту; Staphylococcus aureus, в 1 г продукту; L.monocytogenus, в 25 г продукту	Не дозволено	

Вміст токсичних елементів не повинен перевищувати гранично допустимі рівні (наприклад, свинець, кадмій, ртуть, миш'як). Вміст мікотоксинів, антибіотиків, гормональних препаратів, пестицидів та радіонуклідів у сироватці не повинен перевищувати норми, передбачені МБВ № 5061, ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000 та ДР. [13]

2.3 Основні та другорядні сироваткові білки.

Ще в 1890 році було встановлено шляхом диференційного осадження магнія та амонію сульфатом, що протеїни сироватки гетерогенні і складаються з декількох фракцій. У тридцятих роках минулого сторіччя були виділені окремі очищені фракції цих протеїнів і отримані їх кристали. У наш час для виділення гомогенних протеїнів сироватки в лабораторних умовах найчастіше використовують іонообмінну хроматографію на DEAE–целюлозі. [32]

Сироваткові білки складаються з чотирьох основних фракцій:

- β -лактоглобулін (50–55%),
- α -лактальбумін (20–25%),
- імуноглобуліни (IgG, IgM, IgA) (10–15%)
- бичачий сироватковий альбумін (5–10%).

Лактоферин, остеопонтин, глікомакропептид, протеозопептон з вважають другорядними сироватковими білками (<300 мг/л).

Білки молочної сироватки суттєво відрізняються від основних білків молока - казеїнів. Вони більш різноманітні. Це глобулярні протеїни, вони не осаджуються у своїх ізоелектричних точках і в присутності іонів Ca^{2+} , не утворюють складних надмолекулярних структур, термолабільні. Молекули протеїнів сироватки молока містять велику кількість сірковмісних амінокислот, мало проліну і відсутні олігосахаридні та ортофосфатні групи.

На відміну від казеїнів з основних протеїнів сироватки лише α -La, β -Lg і Lf синтезуються в клітинах молочної залози. Інші протеїни потрапляють у молоко із крові. [32]

Фізико-хімічні властивості сироваткових білків наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Фізико-хімічні властивості сироваткових білків

Вид білка	Концен-трація, г/л	Молекулярна маса, кДа	Ізоелектрична точка (pI)	Вміст в сироватковому білку	Кількість амінокислот
1	2	3	4	5	6
β -лактоглобулін (β -La)	3-4	18,4	5,2	50-55	162
α -лактальбумін (α -La)	1,5	14,2	4,7-5,1	20-25	123
Імуноглобуліни (Ig)	0,6-0,9	150-1000	5,5-8,3	10-15	>1000
Бичачий сироватковий альбумін (БСА)	0,3-0,6	69	4.7-4,9	5-10	582
Лактоферин (Lf)	0,05	78	8,0	1-2	700
Лактопероксидаза (ПОЛ)	0,006	89	9,6	0,5	612
Глікомакропептид (GMP)	1,2-1,5	8,6	4,0-4,8	10-15	102-169
Протеозопептон	0,5	4-20	-	20-25	136

Вплив сироваткових білків на організм

- **β -лактоглобулін**

Джерело розгалужених амінокислот ВСАА, включаючи цистеїн, діє як молекула-носіє, модулює лімфатичну реакцію, має чудові гелеутворюючі властивості, стабілізуючий агент, має антигіпертензивну та гіпохолестеринемічну активність.

За амінокислотним складом β -Lg відносять до цінних харчових протеїнів. Проте наявність інших важливих біологічних функцій вказує

його стійкість до травних протеаз, зокрема, пепсину. Остаточні біологічні функції β -Lg не встановлені. Очевидно, біологічна дія β -Lg полягає у переносі вітаміну А (ретинолу) до тонкого кишечника, де він передається на ретинолзв'язувальний протеїн. Зв'язує вітамін D, жирні кислоти та інші гідрофобні молекули. Саме завдяки зв'язуванню жирних кислот β -Lg підвищує ліпазну активність. Серед продуктів протеолізу β -Lg виявлено багато біоактивних пептидів. У молоці людини β -Lg відсутній. Очевидно, тому він є одним з найбільш алергенних протеїнів коров'ячого молока для немовлят. [2, 32]

- ***α -лактальбумін***

Особливістю амінокислотного складу α -La є наявність восьми залишків цистеїну і 63,2 % незамінних амінокислот. Амінокислотна послідовність α -La корови на 72 % збігається з аналогічним протеїном молока людини. Тому ця білкова фракція є цінною для виробництва замінників жіночого молока, оскільки в молоці людини α -La є основним протеїном сироватки. Надає протипухлинну, антипроліферативну дію, позитивно впливає на рівень серотоніну в мозку, на слизову оболонку шлунка. Використовують як добавку до дитячих сумішей. [2, 32]

- ***Імуноглобуліни***

У молоці корів знайдено імуноглобуліни Ig G, Ig A і Ig M. Найбільш поширеним у молоці корів є Ig G. Саме він характеризується типовою будовою молекули з чотирьох поліпептидних ланцюгів. Імуноглобулін Ig A, який знайдений у молоці, складається з двох таких структур, а імуноглобуліни класу Ig M складаються з п'яти чотириланцюгових одиниць.

У багатьох дослідженнях підтверджено позитивний вплив імуноглобулінів коров'ячого молозива або молока на організм людей різного віку, особливо це протидія кишковим інфекціям, утворення пасивного імунітета. Відома також опіюїдна активність, використання при лікуванні ВІЛ. [2, 32]

- ***Бичачий сироватковий альбумін***

У великій кількості присутній у крові, а також знайдений в інших тканинах організму. У молоко BSA потрапляє з крові та не має великого значення через малу кількість. Є джерелом незамінних амінокислот, впливає на синтез ліпідів, пригнічує ріст пухлини, пригнічує ріст лінії клітин молочної залози людини (MCF-7). [2, 32]

- ***Лактоферин***

Є дуже важливим протеїном молока, що має корисний вплив на організм людини. Його вважають парафармацевтиком. Лактоферин – основний залізо-зв'язувальний білок молока, синтезується у молочній залозі.

Антиоксидантний, антибактеріальний, протівірусний, залізо-зв'язуючий глікопротеїн, надає багатопланову дію на організм, що схематично показано на рис. 2.1.

- ***Глікомакропептид***

Джерело ВСАА та N-ацетилглюкозамінової кислоти, ефективний проти фенілкетонурії. Є глікопротеїном, утворюється з казеїну під дією згортувального ферменту хімозину. ГМП діє як імуномодулятор та протизапальний білок, є пребіотиком для розвитку *Bifidobacterium* та *Lactobacillus* sp., позитивно впливає на розвиток кісток, сприяє засвоєнню кальцію, пригнічує адгезію кількох карієсогенних бактерій тощо.

- ***інші другорядні білки***

Серед них – фолат-зв'язувальний білок, протеозопептон 3 та остеопонтин, які вивільняються з казеїну на початковому етапі утворення згустку. Вони мають унікальні функціональні властивості. Фолат-зв'язувальний білок підвищує біодоступність фолату у новонароджених, що є альтернативою долавання фолієвої кислоти в дитячі суміші.

Протеозопептон 3 – це фосфорильований глікопротеїн, діє як імуномодулятор, антибактеріальний засіб, пригнічує активність ліпази.

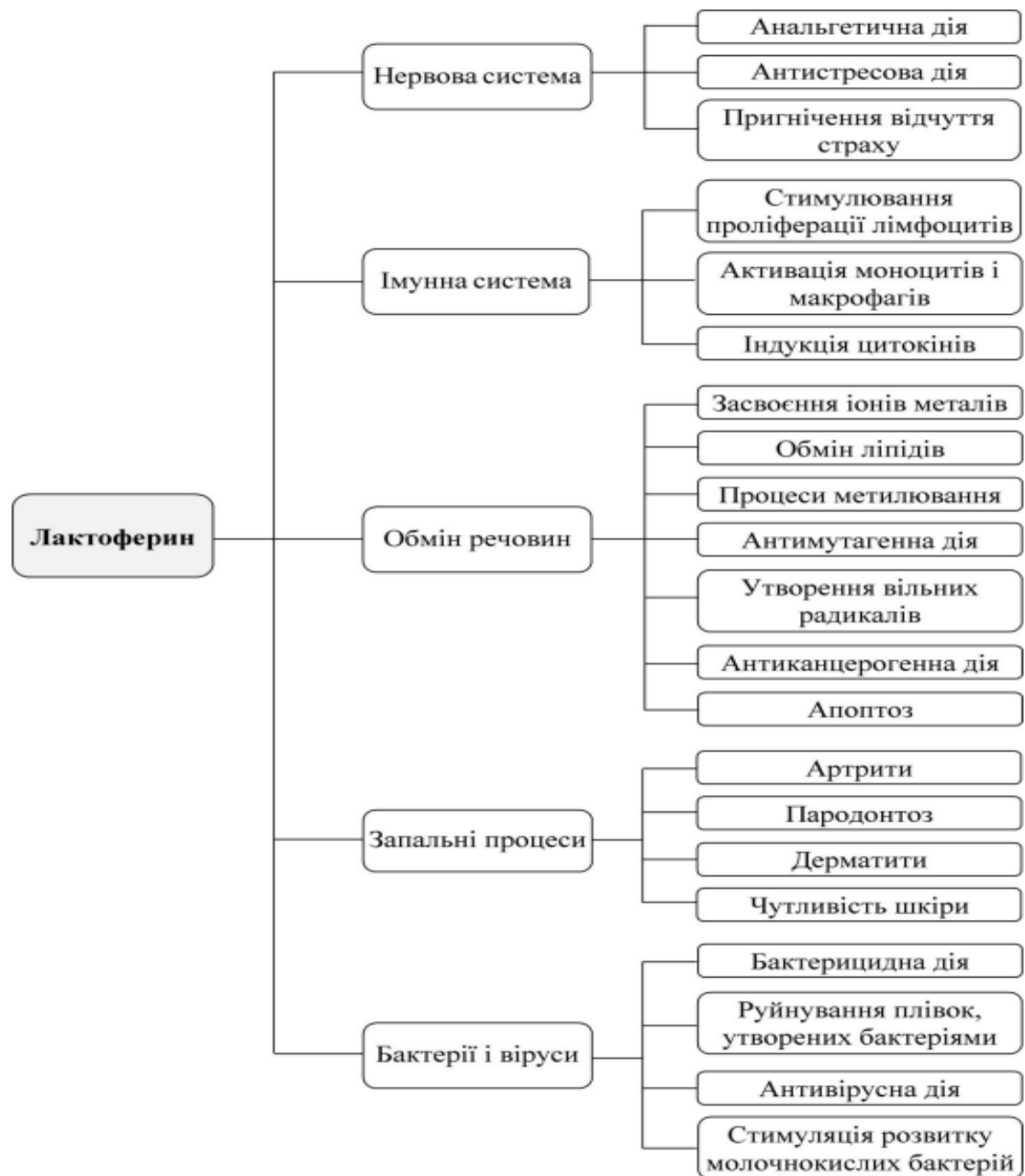


Рис. 2.1. Види функціонального впливу та біологічної дії лактоферину. [32]

Остеопонтин – це глікозильований, фосфорильований протеїн, має численні терапевтичні застосування, включаючи загоєння ран, ангіогенез, когнітивний розвиток та імуномодуляцію. Демонструє добру спорідненість та синергізм із лактоферинм.

Лактопероксидаза є ферментом, який надає антибактеріальну дію, зменшує вміст перекис водню, здійснює неімунний біологічний захист.

Серед ферментів у сироватці присутні також лізоцим, ізомерази, лігази, трансферази, кате псин D, рибонуклеази та гідролази. [2]

Окрім продуктів протеолізу казеїнів у сироватці молока присутня велика кількість інших пептидів, а також мінорних фракцій протеїнів. У багатьох випадках їхня будова, властивості і функції не встановлені.

Висновок до 2 розділу:

Були розглянуті визначення, класифікація та властивості різних видів молочної сироватки, які необхідно урахувати при плануванні процесів її переробки, організації етапів очистки, концентрування та сушки, отримання готового продукту, наприклад, у вигляді концентрату сироваткових білків. Розглянуто також види та характеристику сироваткових протеїнів для визначення перспективних напрямів валоризації молочної сироватки.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Біотехнологічні підходи до переробки молочної сироватки.

Аналіз наукової літератури виявив, що особливості складу молочної сировини та широкий діапазон його мінливості спонукають до пошуку нових підходів для покращення технологічних властивостей побічних продуктів переробки молока, оскільки застосування традиційних способів перероблення обмежене або неефективне.

Серед сучасних способів модифікації білково-вуглеводних складових у технологіях перероблення молочної сировини можна відмітити такі:

- ферментативна модифікація із використанням протеаз для гідролізу казеїну та сироваткових білків з метою отримання пептидів з покращеними функціональними чи біологічними властивостями. Амілази або лактаза можуть змінювати вуглеводний склад, знижуючи вміст лактози або утворюючи олігосахариди;
- теплова обробка. Так, високотемпературна обробка молока викликає зміну структури білків через денатурацію, що покращує емульгувальні властивості або сприяє гелеутворенню. Підвищена температура може активувати або інактивувати ферменти, що впливають на вуглеводи;
- використання мікроорганізмів. здатних в молочній сировині змінювати склад вуглеводів і частково розкласти білки, формуючи нові біоактивні сполуки.
- ультрафільтрація та нанофільтрація дозволяють концентрувати або фракціонувати білки і вуглеводи та отримувати ізоляти, концентрати білків, безлактозне молоко для подальшого використання в функціональних продуктах;
- контрольоване проведення реакції Майяра, тобто взаємодії білків і цукрів для утворення нових смакових, ароматичних та кольорових

компонентів, для покращення функціональних властивостей молочних продуктів.

Нові науково обґрунтовані підходи сприятимуть раціональному використанню ресурсів молочної сировини та інтенсифікації технологічних процесів, а розроблення технологій отримання функціональних продуктів на основі продуктів переробки молочної сироватки сприятиме розширенню асортименту продуктів для дитячого і дієтичного харчування, збагачених сироватковими білками, та низьколактозних продуктів.

3.2. Утилізація молочної сироватки та способи зменшення її негативного впливу на довкілля.

Утилізація сироватки через очисні споруди зазвичай є занадто вартісним способом для підприємств з виготовлення сирів, що може значно знижувати прибуток через великі обсяги відходу. Переробка та утилізація кислої сироватки (КС) зазвичай складніша порівняно із солодкою сироваткою (СС). Як правило, КС має нижчий рівень рН, вміст білка та лактози, але вищий вміст кальцію, фосфору та молочної кислоти (Schmidt et al . 1984), що обумовлює різницю через іншу поведінку цих складових КС під час концентрування, та ускладнює переробку (Dec and Chojnowski 2006). Постійно досліджуються та розроблюються альтернативні методи переробки та утилізації для зменшення кількості складних забруднювачів (Risner et al . 2019). [1, 4]

Крім того, сироватка утворюється при виробництві деяких видів сиру з кисло-термічним способом отримання згустку. Це процес з високим рівнем відходу, наприклад отримують лише 5 кг рікотти зі 105 кг суміші, тобто утворюється 100 кг сироватки (Farkye, 2017); отже, додаткова обробка стічних вод є надзвичайно важливою. А з урахуванням того, що в середньому 85–95% об'єму молока в сироварінні переходить у сироватку, яка зберігає

близько 55% поживних речовин молока, доцільним є запровадження способів валоризації сироватки перед скиданням її у систему очистки стічних вод. [4]

Хоча сирну сироватку можна переробляти на вторинні продукти, цей процес призводить до утворення вторинних сироваткових біовідходів, утилізація яких зараз заборонена традиційними способами законодавством ЄС та деякими національними законодавствами через значну шкоду для навколишнього середовища. Також використання молочної сироватки для відгодівлі тварин тепер не рекомендується через шкідливий вплив на здоров'я тварин високого вмісту лактози, а також швидке її закисання, особливо якщо тваринницьке господарство розташовано не поруч молокопереробного підприємства. [4]

Для характеристики як забруднювача наводять показники біологічного споживання кисню (БСК) та хімічного споживання кисню (ХСК) молочної сироватки. Ці показники, наведені в літературі, дещо відрізняються та складають для СС 40-102 г/л БСК та 27-60 г/л ХСК. Для КС – БСК в межах 52-62 г/л, ХСК – 35-51 г/л.

В складі сухих речовин сироватки 70–75% від загальної кількості складає лактоза, яка відповідає за майже 90% значень ХСК та БСК. КС містить менше лактози порівняно із СС, тому може давати нижчі значення ХСК та БСК, що і простежується в даних літератури. [4, 7]

Вказаний рівень ХСК та БСК відносить сироватку до потужних забруднювачей довкілля, якщо її утилізувати.

Тим не менш, відомі альтернативні біологічні методи утилізації. Відходи сироробних підприємств піддають анаеробній обробці у «молочних ставках». Недоліком є неприємні запахи, схильні до підкислення з часом, а також ставки є середовищем існування для шкідливих комах, таких як комарі та мухи. Молочні ставки можна перетворити на аеробні споруди з примусовою аерацією, забезпечуючи сприятливе середовище для бактеріального розкладання. Недоліком є те, що цей процес тривалий та утворює значну кількість осаду. Осаду після обробки коагуляцією-

флокуляцією піддають лужному осадженням вапном або гідроксидом натрію. Такий осаду, багатий на органічні речовини, пропонують для сільськогосподарського застосування. Такі методи збільшують виробничі витрати через потребу великого обсягу кисню для аерації, дають надмірне утворення мулу, й лише зменшують вміст органічних речовин без подальших переваг. Крім того, високий вміст органічних речовин може сприяти росту нитчастих бактерій. Тобто, використання традиційних методів активного мулу є економічно недоцільним. [1, 4]

Нами проаналізовано також літературні дані щодо енергозберігаючих та рекуперативних технологій використання сироватки. Відома валоризація відпрацьованої молочної сироватки на біогаз або біоетанол. [4]

Анаеробне зброджування сироватки знижує виробничі витрати та робить виробництво сиру енергетично забезпеченим, забезпечує дохід від виробництва енергії. В іншій роботі перероблювали сироватку з ХСК 47 350–58 350 мг/л в одноступеневому анаеробному реакторі з висхідним потоком та досягли зниження ХСК на 97%. [4, 7]

Відпрацьовану молочну сироватку можна використовувати для виробництва електроенергії за допомогою мікробних паливних елементів, але вихід енергії та відтворюваність технології є низькими. Анаеробне розкладання сироватки дозволяє отримувати 50–58 кВт·год/м³ електроенергії та 100–116 кВт·год/м³ тепла. Зберігана сироватка з низьким вмістом органіки та рН придатна для цього забезпечує ресурс на випадок непередбачених обставин. Вироблена енергія може забезпечити потреби молочних заводів, створюючи надлишок для доходу, але такі технології пропонують для місцевих заводів, зменшуючи витрати на транспортування та сприяючи енергетичній самодостатності. Це корисно для ізольованих громад, хоча інвестиції в біореактори та низька масштабованість є проблемами. Крім того, такі рішення проблеми не є остаточними тому, що обсяги виробництва занадто малі для економічно сталого масштабування. Анаеробне зброджування ускладнюється підкисленням і зниженням виходу метану

через накопичення летких кислот, що вимагає додаткових витрат на луг або розведення. Спільне зброджування з іншими відходами (гній, осад) може зменшити їх цінність як добрив. Двоступеневі системи зброджування є перспективними, але не знайшли масового використання. [4]

Отже, природа молочної сироватки як багатого джерела лактози та білка робить перетворення відходів молочної сироватки на продукти з поживною цінністю дуже перспективною стратегією, яка дозволяє отримувати прибуток замість витрат на проблеми утилізації цього відходу.

Усі подібні підходи зменшують вплив на довкілля та виявляються економічно ефективними.

3.3. Напрями валоризації молочної сироватки.

Зазвичай молочну сироватку переробляють шляхом фільтрації для відновлення білка та лактози, які потім використовують у продуктах із доданою вартістю, таких як напої, джеми, соуси, дитяче харчування, хлібобулочні та м'ясні вироби, косметика, функціональні продукти, дієтичні засоби та нутрицевтики. Споживання сироватки в товарах зростає за обсягом та економічною цінністю, що перспективно через збільшення відходів сироватки щороку. Хоча єдиного рішення немає, література пропонує широкий спектр методів утилізації. [2, 4, 21, 24, 26]

Різні стратегії валоризації відходів молочної сироватки наведено в табл. 3.1. [2, 4, 21, 24, 26, 32]

Таблиця 3.1.

Стратегії валоризації відходів молочної сироватки

Напрями валоризації	Методи та методики переробки	Приклади продуктів
1	2	3
Напої на основі сироваткового білка	Ферментація побічних продуктів молочної сироватки Депротеїнізована сироватка	Пробіотичні напої Спортивні напої Функціональні напої

Продовження табл. 3.1

1	2	3
	або сироватковий пермеат, що залишається після ультрафільтрації Ферментація лактози, отриманої з молочної сироватки	Неферментовані функціональні напої Етанол Сироваткова горілка, білий віскі та крафтові напої
Продукти харчування та харчові інгредієнти	Випаровування, зворотний осмос, кристалізація та сушіння Мембранні технології Кислотна теплова коагуляція Мембранна фільтрація	Сироваткові порошки Ізоляти та концентрати сироваткового протеїну Сири, такі як панір, кесо бланко та рікота Сироватковий крем
	Мікрочастинки сироваткового протеїну Кислотно-теплоіндукована коагуляція	Добавки для збагачення дієтичних/функціональних продуктів харчування Замінник жиру
Відділення очищених комплексів складових компонентів сироватки	Багатоступенева мембранна фільтрація для концентрування та фракціонування Нанофільтраційний електродіаліз	Концентрати або ізоляти сироваткового білка з потенційно покращеними функціональними властивостями завдяки видаленню небажаних білкових агрегатів, казеїнів, мікроорганізмів та жирових глобул, що викликають забруднення або проблеми з якістю Мінерали, що містяться в кислому сироватковому сироватці (кальцій і магній)
Відновлення сироваткових протеїнів та лактози	Двоступенева ультрафільтрація Нанофільтрація Іонообмінна хроматографія Мембранна фільтрація	Бичачий сироватковий альбумін Лактоферин Імуноглобіни β-лактоглобулін α-лактальбумін Високочисті сироваткові протеїни Лактоза
Хімічні речовини та консерванти	Автоклавування кислої сироватки з гірчицею Гідроліз або ферментація сироватки для вивільнення біологічно активних сполук Ферментативний та мікробно-каталізований гідроліз та ферментація	Консерванти Консервування харчових продуктів Біоетанол Бактерицидний дезінфікуючий засіб Оцтова кислота (98% чистоти) Виробництво водню, ацетату, бутирату, пропіонату, валерату, лактату та етанолу

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
	Ферментація мезофільними молочнокислими бактеріями Мембранно-інтегрована гібридна реакторна система Ацидогенна ферментація з використанням анаеробного осаду як інокуляту	
Біопластик - пластмаси, плівки та покриття	Біорафінадні заводи Дегідратація біоплівки білків-полісахаридів/антимікробних засобів Ферментація сироватки та приготування плівки з полівінілового спирту	Полігідроксиалканоати Їстівні плівки Покриття для сиру з сироваткового білка, полісахариду та антимікробних речовин Протигрибкові пластикові плівки, що містять молочнокислі бактерії, що ферментують сироватку, для консервування скибочок сиру Покриття для мікрокапсуляції <i>Lactobacillus plantarum</i> методом розпилювального сушіння
Продукти ферментації сироватки	Використання молочної сироватки як субстрату Виробництво біомаси та ліпідів мікроорганізмами Мікробне культивування Мікробні та ферментативні біопроцеси Ферментація за допомогою <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Занурена ферментація	Біомаса та ліпіди одноклітинних організмів, що мають промисловий інтерес, наприклад з мікроводорості <i>Chlorella protothecoide</i> Технічні ферменти Нутрицевтики та біоактивні пептиди, пребіотики, екзополісахариди, органічні кислоти, бактеріоцини, ізофлавонові аглікони та промислово важливі ферменти Збагачена сироватка біоактивними сполуками для функціонального та поживного покращення харчових продуктів і розробки нових функціональних продуктів харчування Ресвератрол (з використанням порошку сирної сироватки як джерела лактози) для виробництва грибової біомаси для сталого корму, отримана з використанням сирної сироватки та апельсинової меляси Ксантанова камедь з <i>Xanthomonas campestris</i>

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
	Ферментація з використанням <i>Kluyveromyces marxianus</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Дистиляція етанолу	Біоетанол
	<i>Gluconobacter oxydans</i>	Галактонова кислота
	<i>Pseudomonas taetrolens</i>	Лактобіонова кислота
	З кислої молочної сироватки методом відкритої ферментації	Капронова кислота
	Темне бродіння	Біоводень та леткі жирні кислоти
Нетрадиційна обробка	Термічна, ультразвукова та термозвукова попередня обробка Ультразвукова модифікація ізоляту сироваткового білка Імпульсні електричні поля Омічне нагрівання Зміна рН та ультразвукова обробка Багаточастотний дивергентний ультразвук Високий гідростатичний тиск/електротехнології/ультразву к Електроактивація	Покращене відновлення лактози з сироватки Виробництво ізоляту сироваткового білка зі зміненими структурними та функціональними властивостями Використання імпульсних електричних полів як нетермічного патогенного контролю у сироваренні та отриманій сироватці для подальшої переробки або для покращеного видалення сироватки з сиру. Виробництво ізоляту сироваткового білка зі зміненими фізико-хімічними властивостями для нових функцій Модифікація фізико-хімічних властивостей, включаючи стабільність емульсії ізоляту сироваткового білка Модифікація емульсійних гелів сироваткового білка для покращення гелеутворюючих характеристик емульсій Може використовуватися для індивідуальних процесів виробництва нових харчових продуктів/композицій, уникаючи при цьому підводних каменів термічної обробки сироватки. Покращене виробництво лактулози порівняно з традиційною хімічною ізомеризацією

3.4. Отримання концентратів сироваткових білків – перспективний напрям переробки молочної сироватки.

Швидкий розвиток новітніх технологій переробки, наукових досліджень і складних аналітичних методів значно покращив розуміння біологічних властивостей сироватки та її похідних у контексті здоров'я і хвороб людини. Цей технологічний прогрес стимулює зростаючий інтерес дослідників до ідентифікації та виділення нових цінних компонентів із сироватки. Сучасні методи переробки сироватки включають зворотний осмос, випаровування, сушіння, ультрафільтрацію, нанофільтрацію, хроматографію, іонний обмін, електродіаліз, ферментацію та хімічну обробку, що дозволяють отримувати високоякісні концентрати та ізолювати білків із різноманітними функціональними властивостями. [1, 2, 6, 20, 27, 33]

Концентрати сироваткових білків, отримані за допомогою цих передових технологій, мають великий потенціал для харчової та фармацевтичної промисловості. Вони широко застосовуються як функціональні інгредієнти у виробництві харчових добавок, дитячих сумішей, кондитерських і хлібопекарських виробів, а також як замітники сухого знежиреного молока. Завдяки своїй здатності бути носіями біологічно активних сполук, ці концентрати можуть формуватися у різні інноваційні структури - від нано- та мікроемульсій до макроформ, таких як гелі, плівки, частинки та покривні матеріали. Це відкриває широкі можливості для створення функціональних і терапевтичних продуктів із підвищеною біодоступністю та ефективністю. [1, 2, 6, 20, 30-33]

Отже, перспективність отримання концентратів сироваткових білків полягає у використанні комплексного підходу, що поєднує сучасні технології переробки та глибоке наукове розуміння їх біологічних властивостей, що забезпечує розробку інноваційних продуктів для здоров'я і харчування.

3.5. Розробка схеми технологічного процесу отримання демінералізованого концентрату сироваткових білків (КСБ)

Отримання демінералізованого концентрату сироваткових білків (КСБ) - це багатоетапний процес, який починається з вибору оптимальної сировини.

Нами запропоновано як сировину використати солодку сироватку (рН 5.8–6.6), яка утворюється під час виробництва твердих сирів (наприклад, гауда або чеддер). Її переваги включають стабільність білків, відсутність денатурації та зручність подальшої обробки. На відміну від неї, кисла сироватка (рН 4.5–5.2), яка залишається після виробництва сиру кисломолочного, вимагає додаткової нейтралізації лугом (наприклад, NaOH) до рН 6.0–6.5, що збільшує витрати та ризик втрати функціональних властивостей білків. Вона також містить велику кількість мінералів, що також ускладнює переробку. Взагалі вважають, що КС важче піддається мембранним способам очистки, ніж СС. [1, 2, 5, 9, 18]

Відразу після відділення сироватки з сирної ванни її слід розглядати як цінний продукт, а для збереження якості необхідно суворо дотримуватися технології на всіх етапах переробки.

Після збору сироватку зберігають у нержавіючих резервуарах з теплоізоляцією за температури 8–10°C для запобігання розмноженню мікроорганізмів.

Спочатку виробничого процесу сироватку очищають від дрібних сирних частинок, щоб полегшити подальшу обробку та покращити властивості кінцевого продукту, наприклад, розчинність.

Очищення здійснюють механічним способом за допомогою центрифуг (швидкість 6000–8000 об/хв), на яких видаляється казеїновий пил, після чого проводять фільтрацію через сіткові фільтри з розміром ячейки 0,5–1 мм. Це дозволяє усунути грубі частинки та підготувати сировину до подальших операцій. [1, 15, 22]

Потім знижують вміст жиру, що подовжує ефективність роботи фільтрувальних мембран, запобігаючи їх закупорюванню. Знежирення виконують на сепараторах-молокоочисниках (наприклад, Alfa Laval) при температурі 40–45°C. При очищенні СС вміст жиру зазвичай знижують до 0,05%, що є стандартною практикою для продовження ефективної роботи фільтрувальних мембран. Однак у деяких джерелах згадується межа до 0,3% як допустимий рівень для певних технологій обробки, залежно від обладнання та цілей переробки. Загалом межі вмісту жиру в очищеній сироватці коливаються від 0,05% до 0,3%, причому нижня межа (0,05%) є більш поширеною для забезпечення якісної роботи мембран і отримання високоякісного продукту. [1, 15, 22, 23, 25]

Далі проводять термічну обробку, тип якої залежить від мікробіологічної якості сироватки, потреби в її зберіганні, транспортуванні чи негайній переробці, а також від вимог до кінцевого продукту.

Сироватку пастеризують: для солодкої використовують режим 72–74 °C протягом 15–20 секунд, є дані про 80 °C, 30 с, тоді як кислу обробляють при 58–62 °C, щоб уникнути коагуляції білків. Оскільки нами вибрано СС, режим вибираємо відповідний [2, 4, 18, 23]. Пастеризація проводиться в пластинчастих теплообмінниках, які забезпечують швидкий нагрів та охолодження. [29]

Як альтернативу пастеризації дослідники пропонують омічне нагрівання. СС піддавали такому нагріванню на рівнях 2, 4, 5, 7 та 9 В·см⁻¹ у діапазоні частот 60 Гц та нагріванні 72–75 °C протягом 15 с. Зразки аналізували на активність поглинання, розподіл частинок за розмірами, кількість життєздатних клітин. Зафіксовано позитивний вплив на мікроскопічні, реологічні та сенсорні параметри зразків СС. Омічне нагрівання 4-5 В посилює вивільнення біоактивних пептидів. Крім того, термічна обробка сироватки нижче 75 °C збереже нативні білки та інші біоактивні компоненти з одночасною інактивацією патогенів. Цей спосіб

термічної обробки доцільніший для переробки сироватки на фармацевтичні та харчові продукти. [1, 2].

Так отримують попередньо оброблену сироватку, готову для виробництва різноманітних продуктів.

Наступний етап з ключових – концентрування. Частіше проводять шляхом ультрафільтрації (УФ), де за допомогою полімерних мембран концентрація білків зростає з 6% до 18–24%. Процес відбувається під тиском та при температурі не вище 40–50°C, що запобігає денатурації. За наведеними в літературі даними запропоновано використати мембрани типу PES, PVDF з відсіканням 10–30 kDa, тиск 0,2–0,4 МПа, температура 45 ± 2 °C. [1, 10, 11, 15, 22]

Для видалення лактози та мінералів проводять, наприклад, діафільтрацію. Для діафільтрації до концентрату додають дістильовану воду у співвідношенні 1:1, повторюють цикл 2–3 рази. У такий спосіб знижують вміст лактози до 5–8% та зольність до 3–4%. Використання установок з тангенціальним потоком (наприклад, Tetra Pak) із швидкістю рециркуляції 6–8 м/с забезпечує ефективне відокремлення фракцій. Для додаткової демінералізації (до 30–35%) застосовують нанофільтрацію під тиском 10–15 бар із мембранами на 200–300 Da. [1, 4, 10, 11, 15, 22]

Електродіаліз є перспективним і більш ефективним методом демінералізації молочної сироватки порівняно з традиційними способами, такими як діафільтрація та нанофільтрація. Суть процесу електродіалізу полягає у використанні електричного поля для селективного переносу іонів через іонообмінні мембрани, які пропускають лише катіони або аніони відповідно. Завдяки цьому в одних камерах концентруються іони розчинених мінеральних речовин, а в інших - очищена рідина, що дозволяє ефективно видаляти з сироватки мінерали без втрати білкових компонентів. [1, 2, 4, 10, 11, 27]

Порівняно з мембранними методами, які базуються на фільтрації (ультрафільтрація, нанофільтрація), електродіаліз не пропускає через

мембрани сам розчин, а лише іони, що підлягають видаленню. Це забезпечує високу ступінь демінералізації (до 90%) при значно менших енергетичних затратах і дозволяє зберігати білки у сироватці без їх втрат.

Крім того, електродіаліз дозволяє уникнути проблем, пов'язаних з осадоутворенням, що часто виникають при діалізації та нанофільтрації, а також забезпечує більшу стабільність процесу завдяки контролю переносу іонів під впливом електричного поля. Мембрани електродіалізу мають підвищену стійкість до активного хлору, що робить цей метод більш надійним і довговічним у промислових умовах. [1, 2, 4, 10, 11, 27]

Застосування електродіалізу особливо доцільне в умовах обмеженого використання прісної води, оскільки ступінь вилучення очищеної рідини може досягати 90–99%, що значно знижує витрати водних ресурсів. Це робить електродіаліз не лише ефективним, а й екологічно вигідним рішенням для демінералізації сироватки. [4, 12]

Отже, електродіаліз як метод демінералізації молочної сироватки забезпечує більш високий ступінь очищення при збереженні білкових і, якщо треба, лактозних компонентів, знижує енергетичні витрати, покращує стабільність процесу та зменшує обсяг використання водних ресурсів у порівнянні з класичними діалізаційними та нанофільтраційними технологіями. Це робить його перспективним для впровадження у виробництво концентратів сироваткових білків із високими функціональними властивостями.

Отриманий концентрат згущують та висушують до стану порошку.

Концентрування здебільшого проводять у випарних установках при 60–70 °C до 50–55 % сухих речовин, після чого направляють на сушку – розпилювальну або барабанну. [1, 15, 22]

Запропоновано застосувати сушку розпилюванням як більш делікатну для білків щодо терміну впливу високої температури. Температура входу сушильного агента в камеру становить 160–170 °C, виходу - 80–85°C, що має забезпечити вологість порошку демінералізованого концентрату

сироваткових білків на рівні 4–6%. Можна застосовувати, наприклад, сушилки типу Niro (марки «COMPACT DRYER») компанії «GEA» або Anhydro (марки «APV Anhydro») компанії «Еварсо» з рукавними фільтрами (ефективність $\geq 99\%$), що запобігають втратам дрібних частинок.

Готовий КСБ фасується в поліетиленові мішки з фольгованим шаром і зберігається за температури $\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ та вологості $\leq 65\%$. Використання солодкої сироватки, сучасного обладнання (наприклад, сепаратори Westfalia, мембранні системи GEA) та дотримання параметрів (дотримання температурних режимів, кількості циклів діафільтрації) забезпечує високий вміст білків (до 85%) і низьку зольність.

Таким чином, процес поєднує механічну, термічну та мембранну обробку, орієнтовану на максимізацію виходу білків із мінімальними втратами. Вибір солодкої сироватки, точний контроль температур і ступеня демінералізації роблять технологію ефективною для виробництва високоякісного КСБ, необхідного у харчовій та фармацевтичній промисловості.

На основі викладеного аналізу способів отримання КСБ нами запропоновано технологічна схема для організації вітчизняного виробництва цього продукту у формі порошку (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Технологічна схема виробництва концентрату сироваткових білків у формі порошку.



Продовження рис. 3.1. Технологічна схема виробництва концентрату сироваткових білків у формі порошку.

3.6. Способи подальшої переробки концентрату сироваткових білків.

У літературних джерелах розглядаються сучасні технології виробництва різних форм сироваткових білків, не тільки концентратів, а й ізолятів, фракцій окремих білків та мікропартікульованих продуктів. Ключовими для отримання високоякісних концентратів і ізолятів є мембранні технології, які було нами розглянуто вище.

Окремі білкові фракції також можна отримувати за допомогою мембранних технологій, що дозволяє створювати продукти з заданими функціональними властивостями для харчової промисловості, фармацевтики та спортивного харчування.

Методи модифікації сироваткових білків включають фізичні, хімічні та ферментативні способи, які покращують їх технологічні властивості - розчинність, емульгування, гелеутворення, піноутворення. Зокрема, розглядаються процеси крос-лінкінгу, гідролізу, кон'югації з вуглеводами (реакція Майяра) та утворення мікропартікульованих білкових частинок.

На структуру і функціональність білків впливають різні технологічні фактори - температура, тиск, ультразвук, що є важливим для оптимізації виробничих процесів, оптимальні умови гідролізу (температура близько 40°C, рН 6–7, тривалість 1–5 годин) та концентрації ферментів, що забезпечують максимальний вихід цільових пептидів. Важливим аспектом є контроль ступеня гідролізу, який впливає на розмір пептидів, їх функціональні властивості і біодоступність. [1, 2, 9-12]

Біотехнологічні методи отримання біоактивних пептидів (БАП) із концентратів сироваткових білків (КСБ), які мають значний потенціал для застосування у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості завдяки своїм функціональним і терапевтичним властивостям, насамперед включають ферментативний гідроліз сироваткових білків за допомогою

специфічних протеаз, що розщеплюють білкові молекули на коротколанцюгові пептиди з біологічною активністю.

Серед ферментів, дія яких досліджувалася в цьому сенсі - нейтральні пептидази, панкреатин, трипсин, хімотрипсин тощо. Відоме використання протеолітичних ферментів рослинного, мікробного та тваринного походження. Крім ферментних препаратів для отримання казеїнових фосфопептидів можуть застосовуватися мікроорганізми, зокрема молочнокислі бактерії. [1, 2, 32]

Загальні способи отримання біоактивних пептидів з КСБ наведено на рис. 3.2.

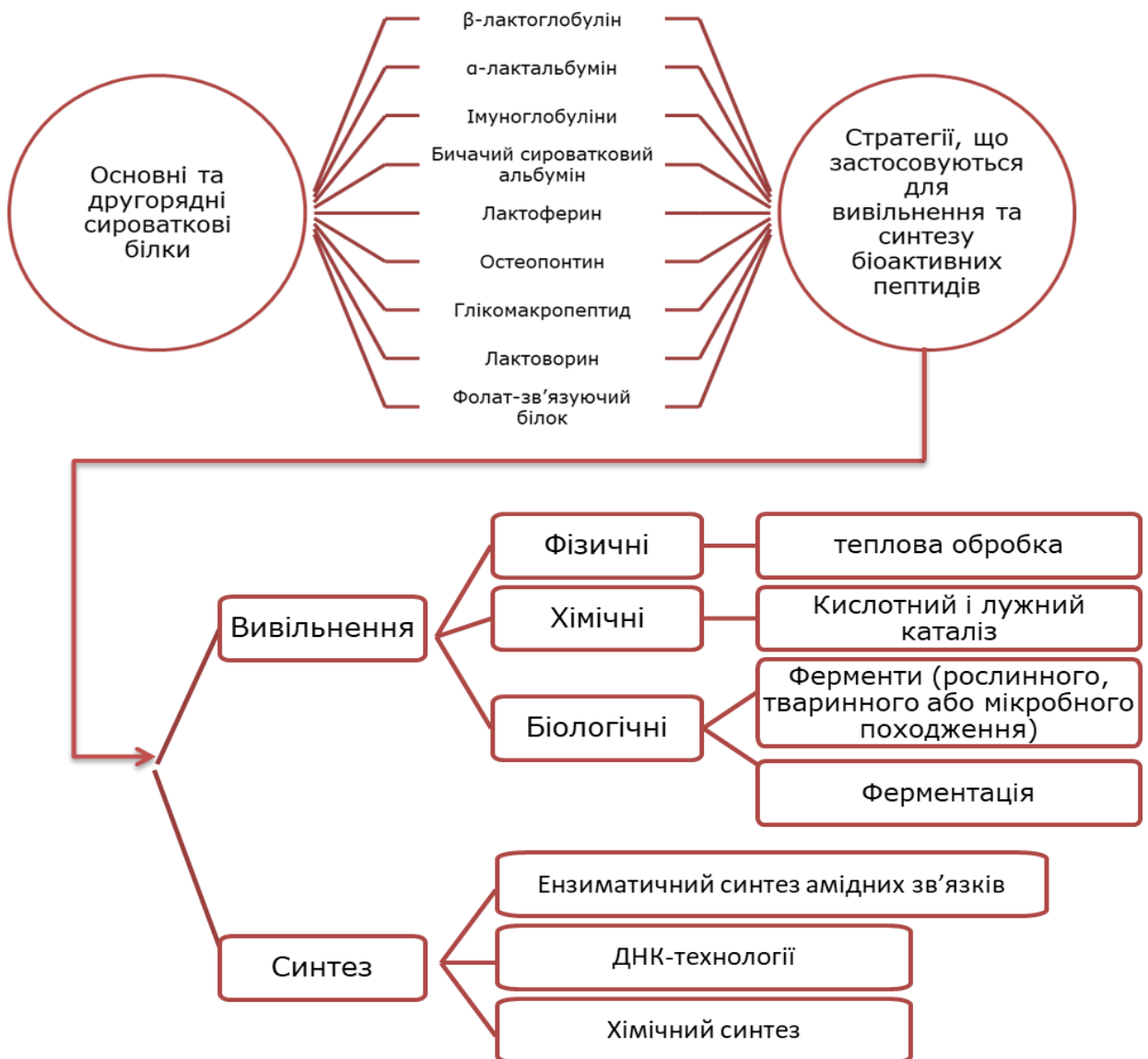


Рис. 3.2. Загальні способи отримання біоактивних пептидів з КСБ.

Стратегії виділення біоактивних пептидів (БАП) залежать від їхнього розташування у структурі молочних білків. За цим критерієм БАП поділяють на три групи [1, 2, 32]:

1. Пептиди з однаковою біологічною дією, які містяться у багатьох основних білках молока (наприклад, інгібітори АПЕ, фосфопептиди).
2. Кілька БАП з певною дією, локалізовані у межах одного білка (наприклад, казоплателіни з κ -казеїну).
3. Унікальний пептид, що міститься лише в одній ділянці певного білка (наприклад, антиконвульсант α -казозепін, який розташований лише в одному місці в α S1-казеїні).

Виділення БАП першої групи є найпростішим, оскільки як субстрат підходять стандартні концентрати молочних білків або казеїну. Для гідролізу використовують різні протеолітичні ферменти тваринного, рослинного чи мікробного походження, найчастіше трипсин, хімотрипсин, пепсин, панкреатин, папаїн, термолізін, а також молочнокислі бактерії. Вихід фосфопептидів залежить від вибору ферменту й може становити 3,4–16%. Останнім часом перевагу надають мікробіологічним ферментам з високою активністю та широкою специфічністю, наприклад, алкалазі. [1, 2, 32]

Механізми дії біоактивних пептидів (БАП) ще недостатньо вивчені, тому їх використання, особливо отриманих із застосуванням нехарактерних для травлення ферментів, потребує обережності. Такі ферменти можуть утворювати неприродні пептиди, які втрачають корисні властивості або навіть шкодять організму.

Це пов'язано з тим, що зазвичай дослідники прагнули максимального виходу фосфопептидів, але при цьому не враховувалася специфічність протеолізу і відповідність структури отриманих пептидів таким, що утворюються в процесі травлення. Особливо при використанні дешевих та доступних протеаз мікробіологічного походження, які мають широку специфічність протеолізу, але не можуть забезпечити утворення всього спектру природних БАВ.

Тому лише дотримання природної специфічності утворення пептидів з білків забезпечить структуру БАП як казеїнового походження так і з інших білків молока. [1, 2, 32]

Щоб отримати природні БАП, важливо використовувати відповідний білковий субстрат, підібраний склад ферментів і фізіологічні умови (рН 7,9; 37°C, співвідношення ензим:субстрат 1:100–1:140). Дослідження показали, що склад і біологічна активність фосфопептидів значно залежать від умов протеолізу. Тому для одержання цінних природних БАП необхідно забезпечити специфічність протеолізу, максимально наближену до природної, щоб уникнути утворення небажаних або неактивних пептидів. [1, 2, 32]

Особливу увагу приділяють характеристиці отриманих пептидів, які проявляють антиоксидантні, імуномодулюючі, антигіпертензивні, антибактеріальні та інші корисні ефекти. Пептиди можуть покращувати засвоєння кальцію, підтримувати імунітет, сприяти відновленню після фізичних навантажень, що робить їх цінними інгредієнтами для функціональних харчових продуктів і дієтичних добавок.

Гідролізати сироваткових білків також мають низьку алергенність і високу засвоюваність, що дозволяє їх використовувати у дитячому харчуванні, спортивному харчуванні та клінічній дієті. Методи молекулярно-ситової фільтрації та сорбції-десорбції застосовуються для очищення і концентрування пептидів, що підвищує їх якість і стабільність.

Крім ферментативного гідролізу, розглядаються перспективи застосування також інших біотехнологічних підходів, таких як використання мікроорганізмів для ферментації сироватки і синтезу пептидів, а також генетично інженерних методів отримання рекомбінантних біоактивних пептидів. [1, 2, 9, 10, 17, 30-32]

Промислове виробництво біоактивних пептидів

Отримання невеликих груп біоактивних пептидів (БАП) із окремих молочних протеїнів або індивідуальних пептидів є складним і дорогим

процесом. У лабораторних умовах для цього застосовують сучасні методи хроматографії, електрофорезу та імунологічні аналізи. Визначення первинної структури пептидів зазвичай здійснюють мас-спектроскопією, а їхню біологічну активність досліджують *in vitro* та *in vivo*. Для підтвердження функцій використовують синтетичні аналоги природних пептидів. [1, 2, 10, 32]

У промислових масштабах фракціонування БАП базується на їх фізико-хімічних властивостях: молекулярній масі, заряді, гідрофобності та розчинності. Зазвичай процес складається з кількох етапів виділення та очищення. Спочатку з гідролізатів молочних білків виділяють низькомолекулярні пептиди (до 25 амінокислот), що становлять близько 88% усіх БАП. Для цього застосовують осадження, екстракцію або ультрафільтрацію, яка найпоширеніша, часто у поєднанні з діалізацією. Однак ультрафільтрація має низьку селективність за молекулярною масою, тому виділяє групи пептидів із різною біологічною активністю, серед яких інгібітори АПЕ, імуномодулятори, антиоксиданти тощо. [1, 2, 10, 32]

Для подальшого розділення БАП за зарядом використовують ізоелектричне фокусування, зокрема без застосування амфолітів, що підвищує чистоту виділених пептидів. Відмінності в гідрофобності пептидів застосовують у препаративній зворотно-фазовій хроматографії під високим тиском (ЗФРХВТ), яка забезпечує високу ефективність, але важко масштабується. Твердофазна екстракція з сорбентами різної гідрофобності дозволяє обробляти більші об'єми, хоча має нижчу селективність і часткові втрати пептидів. Цим методом виділено антидіабетичні пептиди, інгібітори ксантиноксидази та активатори серотонінових рецепторів.

Інноваційним підходом є використання генної інженерії для отримання рекомбінантних пептидів. Наприклад, пептиди-інгібітори ангіотензинперетворювального ферменту, що походять із β -казеїну, були отримані за допомогою *Lactobacillus helveticus* та клоновані в *Bifidobacterium*

pseudocatenulatum. Перші можуть бути включені до молочних продуктів, а другі - продукувати пептиди безпосередньо у травному тракті людини. [2, 32]

Отже, сучасні технології спрямовані на інтеграцію мембранних, біотехнологічних і фізичних методів для створення білкових продуктів з високою харчовою цінністю, стабільністю, функціональністю та відповідністю сучасним вимогам здорового харчування і сталого виробництва.

Висновок до 3 розділу:

Проведений аналіз сучасних біотехнологічних підходів до переробки молочної сироватки засвідчив, що впровадження інноваційних методів, таких як ферментативна модифікація, мембранні технології, мікробіологічна трансформація та контрольовані фізико-хімічні процеси, дозволяє ефективно підвищувати якість і функціональні властивості продуктів переробки. Встановлено, що раціональне використання сироватки не лише зменшує негативний екологічний вплив, а й створює передумови для отримання цінних інгредієнтів із високою харчовою цінністю, зокрема концентратів сироваткових білків та біоактивних пептидів. Проведено аналіз стратегій валоризації молочної сироватки та визначено велику кількість продуктів, що можуть бути отримані під час процесів переробки та використання молочної сироватки в різноманітних процесах. Валоризація сироватки шляхом виробництва харчових, фармацевтичних та технічних продуктів сприяє розширенню асортименту функціональних продуктів, підвищенню економічної ефективності молокопереробних підприємств і розвитку екологічно сталих виробництв. Розроблено технологію та складено технологічну схему для організації вітчизняного виробництва концентрату сироваткових білків для подальшого використання в складі харчових або фармацевтичних продуктів, у продуктах спортивного харчування тощо. Обговорені перспективні напрямки подальшої переробки КСБ для отримання високоочищених сироваткових ізолятів, окремих білків та біоактивних пептидів.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз джерел літератури щодо сучасних способів перероблення молочної сироватки, напрямів застосування продуктів переробки в секторах спортивної підготовки, охорони здоров'я, харчування тощо. З'ясовано проблеми, пов'язані з утворенням великих обсягів молочної сироватки в молокопереробній промисловості. Проаналізовано шляхи її утилізації та перспективи валоризації.
2. Проведено огляд стану ринку сироватки та продуктів її переробки в Україні та світі. Виявлено тенденцію до збільшення та диверсифікації ринку від розширення асортименту продукції до збільшення кількості виробників.
3. Проаналізовано способи переробки молочної сироватки, в тому числі біотехнологічними методами та окреслено асортимент основних продуктів переробки. З'ясовано відмінності та перспективні шляхи для отримання найбільш сучасних та корисних продуктів, як концентрати, ізоляти та біоактивні пептиди сироватки.
4. Виявлено, що переробка молочної сироватки та отримання біологічно цінних продуктів є перспективним напрямом та має значення для вирішення проблеми утилізації великотоннажного відходу молокопереробної галузі, розвитку промисловості та поповнення вітчизняного ринку актуальними продуктами.
5. Розглянуті властивості різних видів молочної сироватки, що необхідно для плануванні процесів її переробки, організації етапів очистки, концентрування та сушки, отримання готового продукту. Розглянуто також види та характеристику сироваткових протеїнів.
6. Проведено аналіз сучасних біотехнологічних підходів до переробки молочної сироватки, виявлено найбільш перспективні технологічні прийоми отримання продуктів переробки молочної сироватки, таких як ферментативна модифікація, мембранні технології, мікробіологічна

трансформація та контрольовані фізико-хімічні процеси, зокрема омічне нагрівання та електродіаліз.

7. Проведено аналіз стратегій валоризації молочної сироватки шляхом виробництва харчових, фармацевтичних та технічних продуктів, що сприяє розширенню асортименту функціональних продуктів, підвищенню економічної ефективності молокопереробних підприємств і розвитку екологічно сталих виробництв.
8. Розроблено технологію та складено технологічну схему для організації вітчизняного виробництва концентрату сироваткових білків для подальшого використання в складі харчових або фармацевтичних продуктів, у продуктах спортивного харчування тощо.
9. Обговорені перспективні напрямки подальшої переробки КСБ для отримання високоочищених сироваткових ізолятів, окремих білків та біоактивних пептидів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Buchanan D., Martindale W., Romeih E., Hebishy E. Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. *International Journal of Dairy Technology*. 2023. Vol. 76, № 2. P. 291-312. DOI: 10.1111/1471-0307.12935
2. Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications / M. Rahul et al. *Journal of Functional Foods*. 2021. Vol. 87. P. 104760. DOI: 10.1016/j.jff.2021.104760.
3. Cheese whey exploitation in Brazil: a questionnaire survey / M. B. Trindade et al. *Food Sci. Technol Campinas*. 2019. Vol. 39(3). P. 788-791. DOI: 10.1590/fst.07419
4. Чому варто вибрати технологію для молочної промисловості та переробки молочної сироватки від «МЕГА». URL: <https://www.mega.cz/ua/whey-processing/#why-choose-mega-ed> (дата звернення: 27.01.2025).
5. Мирончук В. Г., Змієвський Ю. Г., Дзязько Ю. С., Захаров В. В. Аналіз сучасного стану наукових досліджень та практики застосування баро- та електромембранних процесів у молочній промисловості. *Інноваційні технології перероблення молочної сироватки мембранними методами* : монографія. Київ : НУХТ, 2019. С. 6-44. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/958e4b7f-f79c-4370-b2ad-3c5c357174dd> (дата звернення: 27.01.2025).
6. Зубовецька Н. Безлактозні продукти – данина моді чи необхідність? URL: business.rayon.in.ua/blogs/594272-bezlaktozni-produkti-danina-modi-chi-neobkhidnist (дата звернення: 12.01.2025).
7. Марченко О., Семенова О. Біотехнологія переробки сироватки на молокопереробних підприємствах України. URL: https://sophus.at.ua/publ/2016_03_31_lviv/sekcija_section_3_2016_03_

31/biotekhnologija_pererobki_sirovatki_na_molokopererobnikh_pidpriemstva_kh_ukrajini/117-1-0-1723 (дата звернення: 27.01.2025).

8. Венгринович С. М. Методи утилізації молочної сироватки. *Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання* : зб. тез Міжнар. наук.-техн. конф. в 2-х т. Т. 1, 26-27 квіт. 2018 р. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. С. 5. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/24806/4/zbirnyk_2018_tom1.pdf (дата звернення: 27.01.2025).
9. Гніцевич В. А., Гончар Ю. М., Романенко Р. П. Дослідження мікроструктури продуктів переробки молочної сироватки. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2019. Вип. 2(30). С. 72-83. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/3072/1/6%20%2872-83%29.pdf> (дата звернення: 27.01.2025).
10. Грек О. В., Онопрійчук О. О. Наукові основи безвідходних технологій відновлюваної сировини : підручник. Київ : НУХТ, 2020. 326 с.
11. Впровадження безвідходних технологій переробки вторинної молочної сировини / Г. Дейниченко та ін. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2022. № 5(1). С. 82–96. DOI: 10.31866/2616-7468.5.1.2022.260878
12. Дмитриков В. П., Горбенко О. В., Антонов А. В. Екологічні інновації переробки вторинної молочної сировини. *Екологія плюс*. 2019. 3(2), 45-50.
13. ДСТУ 4552:2006. Сироватка молочна суха. Технічні умови. Чинний від 2006-04-27. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.
14. ДСТУ 7515:2014. Сироватка молочна. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2014. 14 с.
15. Мацєга Р. Сучасні методи переробки молочної сироватки *Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання* : зб. тез Міжнар. наук.-техн. конф. в 2-х т. Т. 1, 26-27 квіт. 2018 р. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. С. 10-11. URL:

https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/24806/4/zbirnyk_2018_tom1.pdf (дата звернення: 27.01.2025).

16. Хохленкова Н. В., Калюжная О. С., Двінських Н. В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів вищої освіти спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» ОП «Промислова біотехнологія». Харків : Вид-во НФаУ, 2022. 40 с.
17. Молочна сироватка: користь, шкода та харчова цінність. URL: agrodream.com.ua/molochna-syrovatka-koryst.html (дата звернення: 12.01.2025).
18. Назаренко Ю. В., Ященко С. Ю. Особливості використання молочної сироватки та ретентату, отримання високоякісних напоїв оздоровчого харчування. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. – 2016. Вип. 1. С. 13-19. URL: <https://surl.li/tkbfzn> (дата звернення: 12.01.2025).
19. Новозеландська Daisy Lab успішно масштабувала виробництво сироватки ідентичної тваринній. Вівторок, 23 січня 2024. URL: <https://www.milkua.info/uk/post/novozelandska-daisy-lab-uspisno-masstabuvala-virobnictvo-sirovatki-identichnoi-tvarinnij> (дата звернення: 12.01.2025).
20. Огляд ринків ключових молочних товарів: суха сироватка. Понеділок, 10 липня 2023. URL: <https://www.milkua.info/uk/post/oglad-rinkiv-klucovih-molocnih-tovariv-suha-sirovatka> (дата звернення: 12.01.2025).
21. Пахомська О. В. Науковий підхід до створення хлібобулочних виробів функціонального призначення. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. Т. 25, № 2. С. 276-283. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_2_30 (дата звернення: 12.01.2025).
22. Різні технології переробки сироватки. URL: <https://surl.lu/qxduch> (дата звернення: 12.01.2025).

- 23.Рішення для молочної промисловості. *Калинівський машинобудівний завод*. URL: <https://www.kmbp.com.ua/produktsiya/rishennia-dlia-molochnoi-promyslovosti> (дата звернення: 10.02.2025).
24. Дослідження лактазної активності заквашувальних препаратів у молочних сумішах на основі вторинної молочної сировини / І. О. Романчук та ін. *Продовольчі ресурси*. 2023. № 11(20). С. 119–129. DOI: 10.31073/foodresources2023-20-12
- 25.Романчук І. О. Наукове обґрунтування та розроблення способів підвищення ресурсоефективності промислового перероблення молочної сировини : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.04. Київ, 2020. 44 с. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/86cb8810-fcf8-4b4f-a571-7e4799641bc2/content>
- 26.Салюк А. І., Вакула Ю. В. Екологічні проблеми та шляхи їх вирішення у молокопереробному виробництві. URL: <https://surl.lu/quqkaf> (дата звернення: 10.02.2025).
- 27.Суха демінералізована сироватка. *Калинівський машинобудівний завод*. URL: <https://surl.li/vmqglz> (дата звернення: 10.02.2025).
- 28.Україна наростила експорт сироватки, кисломолочних продуктів і морозива. Четвер, 6 квітня 2023. URL: <https://www.milkua.info/uk/post/ukraine-narostila-eksport-sirovatki-kislomolocnih-produktiv-i-moroziva> (дата звернення: 10.02.2025).
- 29.Харчова біотехнологія : підруч. для студентів ВНЗ / Т. П. Пирог та ін. ; Нац. ун-т харч. технологій. Київ : Ліра-К, 2016. 408 с.
- 30.Шаров Ю. М., Протащук С. С. Перспективи використання молочної сироватки у харчовій промисловості / наук. кер. Н. В. Болгова. *Проблеми формування здорового способу життя у молоді* : зб. матеріалів XII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів з міжнар. участю, Одеса, 03–05 жовт. 2019 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій ; гол. ред. О. М. Кананихіна. Одеса : ФОП Бондаренко М. О., 2019. С. 211–213.

- 31.Шимків О. С. Переробка та використання молочної сироватки як фактор сталого розвитку молокопереробної галузі : зб. тез XIII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів. Тернопіль : ТНТУ, 2024. 348 с. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/47029> (дата звернення: 10.02.2025).
- 32.Юкало В. Г. Біологічна активність протеїнів і пептидів молока : монографія. Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 372 с.
- 33.Який протеїновий порошок вибрати? Сироватковий концентрат, ізолят або гідролізат? URL: <https://surl.li/nhtsft> (дата звернення: 12.01.2025).

ДОДАТОК

Публікації за темою роботи

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ НОВИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ

МАТЕРІАЛИ
XXXI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ

23–25 квітня 2025 року
м. Харків

Харків
НФаУ
2025

КЛІТИННІ ЛІНІЇ: ОСНОВА СУЧАСНИХ БІОМЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дроздова А.С.

Науковий керівник: Філіпцова О.В.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна

philiptsova@yahoo.com

Вступ. Клітинні лінії — це популяції клітин, які походять від однієї клітини-попередника та можуть безкінечно розмножуватись у штучно створених лабораторних умовах. Вони є надзвичайно важливим інструментом у біології, медицині, фармакології та біотехнології, оскільки дозволяють проводити дослідження на клітинному рівні.

Мета дослідження. Метою дослідження було вивчення деяких клітинних ліній та можливості їх застосування у біотехнологічних аспектах.

Матеріали та методи. Для дослідження було проведено аналітичний огляд наукових джерел.

Результати дослідження. Існують різні типи клітинних ліній: первинні (отримані безпосередньо з тканин), диплоїдні, безсмертні (які можуть нескінченно ділитися, наприклад, HeLa) та трансформовані (змнені генетично або вірусами). Залежно від походження та властивостей, їх використовують для моделювання хвороб, вивчення механізмів клітинного росту та апоптозу, тестування лікарських засобів, виробництва вакцин і моноклональних антитіл.

Так, однією з відомих клітинних ліній є лінія СНО, яка є однією з найвідоміших і найважливіших у біотехнології. Вона отримана з яєчника китайського хом'яка у 1957 році та широко адаптована до росту в культурі, зокрема, у суспензії та у безсироватковому середовищі. Вона є надзвичайно стабільною та високожиттєздатною. Відомо, що вона добре піддається трансфекції та придатна до масового виробництва білків.

Особливу роль клітинні лінії відіграють у розробці онкологічних терапій, де вони допомагають вивчати поведінку пухлинних клітин та реакцію на хіміотерапію. Крім того, лінії стовбурових клітин відкривають перспективи для регенеративної медицини та клітинної терапії. Однак використання клітинних ліній пов'язане з певними труднощами: ризик контамінації, генетична нестабільність з часом, а також етичні питання щодо походження деяких ліній. Тому важливо дотримуватись стандартів культивування та регулярно перевіряти автентичність клітин.

Висновки. Таким чином, клітинні лінії є ключовим інструментом сучасної науки, що дає змогу розширювати знання про фундаментальні процеси життя та створювати нові терапевтичні підходи у медицині.

СПОСОБИ МОДИФІКАЦІЇ БІЛКОВО-ВУГЛЕВОДНИХ СКЛАДОВИХ В ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРЕРОБКИ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ

Канівець О.Г.

Науковий керівник: Двінських Н.В.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна

begunova1203@gmail.com

Вступ. Розроблення технологій раціонального використання складових молочної сировини є актуальним завданням в індустрії функціональних продуктів харчування, з огляду

на необхідність насичення ринку продукцією відповідно до сучасних тенденцій у харчуванні, зокрема, низьколактозних продуктів та продуктів, збагачених сироватковими білками. Останні дані наукових досліджень підтверджують вагомий вплив складових молока, як казеїн, сироваткові білки, пептиди та мінерали молочних продуктів на покращення стану здоров'я людей, які страждають на порушення обміну речовин та серцево-судинні захворювання. Економічна доцільність та потреби ринку спонукають до розширення асортименту продукції відповідно до сучасних тенденцій у харчуванні. Тому, доцільним є дослідження, спрямовані на вдосконалення технологій промислового перероблення вторинної молочної сировини як одного з джерел отримання забезпечення біологічної повноцінності і ефективності харчового раціону широкого кола споживачів.

Мета дослідження. Дослідження способів модифікації білково-вуглеводних складових в технологіях перероблення молочної сировини.

Матеріали та методи. Аналітичні методи досліджень: систематизація та класифікація даних наукової літератури, абстрактно-логічний метод узагальнень та висновків.

Результати дослідження. Аналіз наукової літератури виявив, що особливості складу молочної сировини та широкий діапазон його мінливості спонукають до пошуку нових підходів для покращення технологічних властивостей побічних продуктів переробки молока, оскільки застосування традиційних способів перероблення обмежене або неефективне.

Серед сучасних способів модифікації білково-вуглеводних складових у технологіях перероблення молочної сировини можна відмітити такі:

- ферментативна модифікація із використанням протеаз для гідролізу казеїну та сироваткових білків з метою отримання пептидів з покращеними функціональними чи біологічними властивостями. Амілази або лактаза можуть змінювати вуглеводний склад, знижуючи вміст лактози або утворюючи олігосахариди;
- теплова обробка. Так, високотемпературна обробка молока викликає зміну структури білків через денатурацію, що покращує емульгувальні властивості або сприяє гелеутворенню. Підвищена температура може активувати або інактивувати ферменти, що впливають на вуглеводи;
- ультрафільтрація та нанофільтрація дозволяють концентрувати або фракціонувати білки і вуглеводи та отримувати ізоляти, концентрати білків, безлактозне молоко для подальшого використання в функціональних продуктах;
- контрольоване проведення реакції Майяра, тобто взаємодії білків і цукрів для утворення нових смакових, ароматичних та кольорових компонентів, для покращення функціональних властивостей молочних продуктів;
- використання мікроорганізмів, здатних в молочній сировині змінювати склад вуглеводів і частково розкласти білки, формуючи нові біоактивні сполуки.

Висновки. Нові науково обґрунтовані підходи сприятимуть раціональному використанню ресурсів молочної сировини та інтенсифікації технологічних процесів, а розроблення технологій отримання функціональних продуктів на основі продуктів переробки молочної сироватки сприятиме розширенню асортименту продуктів для дитячого і дієтичного харчування, збагачених сироватковими білками, та низьколактозних продуктів.



23-25 квітня 2025 р, м. Харків



**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
СТУДЕНТСЬКЕ НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО**

ПРОГРАМА

**XXXI Міжнародної науково-практичної конференції
молодих вчених та студентів
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ НОВИХ ЛІКАРСЬКИХ
ЗАСОБІВ»**

23-25 квітня 2025 р.

Харків – 2025

Кафедра біотехнології

1. **Біологія, екологія та застосування в сучасному суспільстві
грибів роду *Mucor***
Доповідач: Двінських Анна
Науковий керівник: Двінських Н.В., к. фарм. н., с.н.с.
2. **Раціональні способи переробки молочної сироватки для
отримання цінних продуктів**
Доповідач: Канівець Олена
Науковий керівник: Двінських Н.В., к. фарм. н., с.н.с.
3. **Виробництво біодизелю з рештків аграрної продукції**
Доповідач: Щербак Матвій
Науковий керівник: Соловійова А.В., PhD.
4. **Біотехнологічні підходи до створення блакитного сиру**
Доповідач: Рогачова Єлизавета
Науковий керівник: Хохленкова Н. В., д. фарм.н., професор
5. **Клітинні лінії: основа сучасних біомедичних знань**
Доповідач: Дроздова Анастасія
Науковий керівник: Філіпцова О. В., д. біол. н., професор
6. **МікроРНК: сучасні можливості для медицини та сільського
господарства**
Доповідач: Ольховська Катерина
Науковий керівник: Філіпцова О. В., д. біол. н., професор
7. **Аналіз біотехнологічних підходів до корекції станів в
геронтології та геріатрії**
Доповідач: Писарська Анастасія
Науковий керівник: Філіпцова О. В., д. біол. н., професор
8. **Використання *Salmonella enteritidis* var. *Issatschenko* в складі
біопрепаратів для сільського господарства**
Доповідач: Ковальський Андрій
Науковий керівник: Двінських Н.В., к. фарм. н., с.н.с.
9. **Поняття про вісцеральний жир та методи його аналізу**
Доповідач: Саустян Яна
Науковий керівник: Філіпцова О. В., д. біол. н., професор