

INFLUENCE OF ELECTRO-SPARK TREATMENT OF MILK WHEY ON ITS FERMENTATION INTENSITY

O. Kochubei-Lytvynenko, A. Pukhliak, O. Shcherbatiuk

National University of Food Technologies

Key words:

Whey

Thermoacidic coagulation

Mineral enrichment

Fermentation

Intensification

Electrospark treatment

Article history:

Received 12.05.2023

Received in revised form

26.05.2023

Accepted 09.06.2023

Corresponding author:

O. Kochubei-Lytvynenko

E-mail:

okolit@email.ua

Citation: O. B. Кочубей-Литвиненко, А. Г. Пухляк, О. Г. Щербатюк (2023). Вплив електроіскрового оброблення сироватки молочної на інтенсивність її ферментації. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 159—167.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-15

ABSTRACT

The production of whey coagulant for thermoacidic coagulation of milk-protein curd in the production of soft cheeses requires considerable time and free production space for its preparation and storage. It was proposed to intensify the production by pre-treatment of the natural whey with electric spark discharges in a reaction chamber with a conductive layer of magnesium, manganese and zinc granules.

On the basis of the conducted experimental studies of the dynamics of the growth of titrated acidity and the number of lactobacilli in experimental samples of milk serum, it was established that the duration of fermentation was reduced by almost 2 times as a result of its treatment before fermentation in an electric discharge chamber with a conductive layer of manganese or zinc granules for 60 s or sequential treatment in discharge chambers with a conductive layer of manganese, magnesium and zinc granules for 30 seconds.

The positive effect of fermented milk whey, pre-treated with electric spark discharges, on the quality of temo-acid cheese was set, namely: its enrichment with manganese, zinc and magnesium, the intensification of the technological process by almost two times, complete use of the protein potential of raw materials, an increase in yield cheese by 8%.

The effectiveness was confirmed by estimated economic indicators. The undiscounted payback period of the project is almost 6 months. The discounted payback period, which takes into account the depreciation factor, is 10.4 months. According to the profitability index criterion, the project is effective.

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ СИРОВАТКИ МОЛОЧНОЇ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЇЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ

О. В. Кочубей-Литвиненко, А. Г. Пухляк, О. Г. Щербатюк

Національний університет харчових технологій

Виготовлення сироватки-коагулянта для термокислотного зсідання молочно-білкового згустку при виробництві сирів м'яких потребує значних витрат часу і вільних виробничих площ для її приготування та резервування. Авторами статті запропоновано інтенсифікувати виробництво шляхом попереднього оброблення вихідної сироватки електроіскровими розрядами в реакційній камері із струмопровідним шаром гранул магнію, мангану і цинку.

На підставі проведених експериментальних досліджень динаміки наростання титрованої кислотності та чисельності лактобактерій у дослідних зразках сироватки молочної встановлено скорочення тривалості ферментації майже вдвічі внаслідок її оброблення перед ферментацією в електророзрядній камері зі струмопровідним шаром гранул мангану або цинку протягом 60 с або послідовного оброблення в розрядних камерах зі струмопровідним шаром гранул мангану, магнію і цинку по 30 с в кожній.

Відмічено позитивний вплив ферментованої сироватки молочної, попередньо обробленої електроіскровими розрядами, на якість термокислотного сиру (збагачення його манганом, цинком і магнієм, інтенсифікація технологічного процесу майже вдвічі, більш повне використання білкового потенціалу сировини, збільшення виходу сиру на 8%).

Ефективність заходу підтверджена розрахунковими економічними показниками. Недисконтований термін окупності проєкту становить майже 6 місяців. Дисконтований термін окупності, який враховує фактор знецінення коштів, становить 10,4 місяці. За критерієм індексу дохідності проєкт є ефективним.

Ключові слова: сироватка молочна, термокислотне зсідання, мінеральне збагачення, ферментація, інтенсифікація, електроіскрове оброблення.

Постановка проблеми. Технологічний етап виготовлення сироватки молочної кислоти, що буде використовуватися як коагулянт під час термокислотного зсідання молока при виробництві сирів м'яких, потребує значних витрат часу і вільних виробничих площ для приготування та резервування коагулянта. Досягнення належної титрованої кислотності, за якої процес зсідання білків молока пройде успішно (170 ± 10 °C), може зайняти до 48 год і, як наслідок, тривалість технологічного циклу зростає. Це не може не відбитися на економічних показниках виробництва, що свідчить на користь актуальності пошуку шляхів інтенсифікації технологічного процесу виготовлення сироватки молочної кислоти як коагулянта при виробництві сирів м'яких.

Технологічні підходи, що передбачають інтенсифікацію виробництва термокислотного сиру, насамперед виготовлення сироватки-коагулянта, як правило, обмежуються використанням різноманітних органічних кислот, харчових добавок

та вкрай обмежені. На увагу заслуговує удосконалення технології термокислотного м'якого сиру шляхом створення у ферментованому середовищі сприятливих умов для зростання молочнокислої мікрофлори. Досягнути цього можна, збагативши сироватку молочну біологічно цінними мінеральними елементами, які виступатимуть поживним середовищем для мікроорганізмів та сприятимуть зростанню біомаси молочнокислих бактерій і, як наслідок, забезпечать інтенсифікацію кислотоутворення в системі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сироватка молочна у своєму складі містить цілий набір макро- та мікроелементів (González-Weller та ін., 2023; Грек, & Онопрійчук, 2018), проте кількість цинку, магнію, мангану, які потрібні мікробіальним клітинам для життєдіяльності та зростання, є недостатньою.

Мікробіальним клітинам у значному обсязі необхідні макро- та мікроелементи: карбон, нітроген, кисень, водень, фосфор, сульфур, калій, кальцій, магній, цинк, манган, натрій, хлор, молібден, селіцій та ін. (Пирог, 2010). Zn, Mg і Mn та ін. можна розглядати як чинники інтенсифікації бродіння і ферментації, оскільки вони беруть участь у побудові компонентів живих клітин, сприяють енергетичному обміну і синтезу білка мікробної клітини, здатні активізувати і стабілізувати дію ферментів (Stehlik-Tomas та ін., 2004; Birch, Ciani & Walker, 2003), покращують бродильну активність пивних дріжджів (Карпутіна та ін., 2012; Кошова та ін., 2015).

Їх можна розглядати як фактори росту для лактобактерій і дріжджів. Так, у (Góral та ін., 2018) показано, що збагачення штамів мікроорганізмів *Lactobacillus rhamnosus* і *Lactococcus lactis* йонами магнію використанням імпульсних електричних полів не мало негативного впливу на структурно-механічні властивості молочних продуктів. При цьому спостерігався позитивний вплив на адгезійні властивості продукту та життєздатність мікроорганізмів навіть після заморожування.

У праці (Карпутіна та ін., 2012) описано позитивний вплив на життєздатність та бродильну активність пивних дріжджів їх електронно-іонного оброблення, що проводиться в потоці під час завантаження дріжджів у бродильний апарат. Доведено, що таке оброблення сприяє зменшенню кількості нежиттєздатних клітин на 26...40% та прискоренню зброджування суслу в середньому на 2 доби.

Доведено, що при додаванні наноаквахелату цинку з концентрацією цинку 0,10 мг/дм³, отриманого електроіскровим способом, збільшується бродильна активність пивних дріжджів (Кошова та ін., 2015). На завершальній стадії бродіння кількість виділеного CO₂ була на 14% вищою, ніж у контролі. При цьому кількість збродженого екстракту у молодому пиві знизилася на 15% порівняно з контролем, а процес головного бродіння скоротився на 1—2 доби залежно від концентрації початкового суслу.

Зазначене вище підтверджує доцільність збагачення молочної сироватки магнієм, манганом, цинком для прискорення її ферментації. Перспективним у цьому напрямі є залучення до технологічної схеми виробництва сироватки як коагулянта для осадження молочно-білкового сирного згустка електроіскрового збагачення молочної сироватки технологічно цінними мінеральними елементами (Кочубей-Литвиненко, & Чернюшок, 2017). Відомостей щодо застосування електроіско-

вого оброблення молочної сироватки для інтенсифікації ферментації під час виробництва сироватки-коагулянта недостатньо, а існуючі дані потребують додаткового вивчення.

Мета статті: обґрунтування доцільності використання електроіскрового оброблення сироватки молочної під час виробництва сироватки кислої як коагулянта для термокислотного зсідання молока.

Матеріали і методи. Об'єктом досліджень був процес ферментації сироватки-коагулянта і технологія м'яких сирів термокислотного зсідання.

Ферментуванню піддавали сироватку молочну, отриману термокислотним зсіданням молока, оскільки саме вона вважається найбільш сприйнятливим середовищем для культивування молочнокислих бактерій.

Молочну сироватку перед ферментацією очищували від частинок осажденного білка, потім обробляли на експериментальній електророзрядній установці періодичної дії, розробленій науковцями Національного університету біоресурсів та природокористування України (Лопатко, Афанділянц, Зазимко, & Трач, 2018) за одним із варіантів:

- 1) зі струмопровідним шаром гранул мангану (далі — зразок 1);
- 2) зі струмопровідним шаром гранул магнію (далі — зразок 2);
- 3) зі струмопровідним шаром гранул цинку (далі — зразок 3);
- 4) послідовно в розрядних камерах зі струмопровідним шаром гранул цинку, магнію і мангану (далі — зразок 4).

Тривалість електроіскрового оброблення в електророзрядних камерах змінювали від 30 до 120 с.

Далі оброблену сироватку молочну пастеризували за температури $(78 \pm 2)^\circ\text{C}$, охолоджували до температури $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ і заквашували чистими культурами *Lactobacillus acidophilus*. На користь вибору цих заквашувальних культур свідчить те, що вони характеризуються високим рівнем кислотоутворення (межа кислотоутворення понад 300 °Т), що, у свою чергу, має суттєве значення під час оброблення сироватки з підвищеним рівнем рН за рахунок накопичення частинок металів. Водночас ця культура є активним антагоністом щодо сторонньої мікробіоти і може забезпечити безпечність готового продукту. Ферментацію здійснювали за температури $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ протягом 36 годин. Контролем була ферментована сироватка молочна, виготовлена без залучення електроіскрового оброблення сировини (далі — контроль).

Для встановлення впливу електроіскрового оброблення на кислотоутворючі властивості *Lbc. acidophilus* визначали титровану кислотність сироватки молочної через кожні 6 год ферментації за температури $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Для дослідження впливу приготовленої ферментованої сироватки, збагаченої мінеральними елементами, на якість сиру виробляли дослідні лабораторні зразки сиру м'якого термокислотним зсіданням молока з використанням:

- ферментованої сироватки молочної необробленої (контроль);
- ферментованої сироватки молочної, виготовленої із сировини, послідовно обробленої по 30 с в трьох електророзрядних камерах: одна зі струмопровідним шаром гранул магнію, друга — мангану, третя — цинку (дослідний зразок).

Кислу сироватку, виготовлену за одним із зазначених варіантів, після досягнення нею необхідної титрованої кислотності, вносили під час постійного перемішування у підготовлену пастеризовану нормалізовану молочну суміш за температури $(95 \pm 2)^\circ\text{C}$ у кількості 8...10%. Решта технологічних операцій відповідала загальноприйнятій технології термокислого сиру.

Використано стандартні методи дослідження органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних досліджень. Статистичне оброблення результатів досліджень проводили за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel XP.

Викладення основних результатів дослідження. Встановлено, що для всіх дослідних зразків властивим було природне поступове зростання титрованої кислотності протягом ферментації сироватки молочної, заквашеної чистими культурами *Lbc. acidophilus*.

Однак слід відмітити, що в зразках, збагачених цінними мінеральними елементами (Zn, Mg, Mn) внаслідок електроіскрового оброблення протягом 30...60 с, приріст титрованої кислотності (ΔT) у часі був інтенсивнішим. Так, через 24 год ферментації в дослідних зразках №1 ΔT складало від 140 до 169 $^\circ\text{T}$ залежно від тривалості оброблення; в зразках № 2 — від 122 до 136 $^\circ\text{T}$, в зразках № 3 — від 145 до 175 $^\circ\text{T}$, в зразках № 4 — від 140 до 171 $^\circ\text{T}$. Варто зазначити, що в контролі за тотожного часу ферментації титрована кислотність зросла лише до 110 $^\circ\text{T}$.

Відмічено, що із подовженням тривалості оброблення до 120 с ферментація відбувалася повільніше, що можна пояснити зростанням кількості металевих частинок у мікророзмірному діапазоні і, як наслідок, зміщенням рН у сироватці в лужний бік.

Найвищу кислотоутворюючу активність культура молочнокислих мікроорганізмів *Lbc. acidophilus* проявляла в сироватці молочної, обробленій у розрядній камері зі струмопровідним шаром гранул Mn або Zn за тривалості оброблення 60 с, та в сироватці, збагаченій Mg, Mn, Zn. Слід відмітити синергетичну дію цинку, магнію і мангану на інтенсивність ферментації, що зумовлено зростанням важливих поживних мікро- та макроелементів для побудови компонентів живих клітин лактобактерій у формі, доступній для засвоєння та конструктивного метаболізму.

Отримані дані узгоджуються з результатами, викладеними в працях (Walker, 1994, Stehlik-Tomas та ін., 2004, Birch, Ciani & Walker, 2003), і свідчать про позитивний вплив збагачення ферментаційного середовища цинком, магнієм і манганом на інтенсифікацію біотехнологічних процесів.

Варто відмітити, що ферментування сироватки молочної, збагаченої лише магнієм, відбувалося дещо повільніше порівняно із дослідними зразками № 1, № 3 і № 4. Можна припустити, що кількість Mg, отримана за оброблення протягом 30...60 с, недостатня для повноцінного живлення лактобактерій, тоді як із збільшенням часу оброблення хоча й зростає його кількість, але й, відповідно, підвищується рН середовища та кількість мікрочастинок, недоступних для повноцінного засвоєння мікробною клітиною, що негативно відображається на процесі ферментації.

Виявлено, що належної кислотності ($160 \pm 10^\circ\text{T}$) для осадження білків під час виробництва термокислотних сирів, сироватка молочної, збагачена цинком і/або

магнієм і/або манганом набуває через 12...18 год, тоді як контроль — через 30 год ферментації.

Отримані результати інтенсифікації ферментації підтверджуються дослідженнями чисельності лактобактерій у дослідних зразках ферментованої молочної сироватки (табл. 1).

Отже, результати проведених досліджень наростання кислотності та чисельності лактобактерій в дослідних зразках сироватки молочної засвідчили можливість скорочення тривалості ферментації майже вдвічі внаслідок її оброблення перед ферментацією електроіскровими розрядами в розрядній камері із струмопровідним шаром гранул мангану або цинку протягом 60 с, або послідовного оброблення в розрядних камерах зі струмопровідним шаром гранул мангану, магнію і цинку по 30 с в кожній.

Таблиця 1. Зміна чисельності лактобактерій під час ферментації сироватки молочної, обробленої електроіскровими розрядами за різних параметрів (тривалість, матеріал електродів розрядної камери)

Дослідний зразок	Чисельність лактобактерій, КУО/г, за тривалості ферментації, год	
	12	24
Контроль	$(1 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(1 \pm 0,05) \cdot 10^7$
Зразок № 1 за тривалості оброблення, с:		
30	$(8 \pm 0,4) \cdot 10^6$	$(3 \pm 0,1) \cdot 10^7$
60	$(4 \pm 0,2) \cdot 10^7$	$(5 \pm 0,2) \cdot 10^8$
90	$(1 \pm 0,05) \cdot 10^7$	$(7 \pm 0,3) \cdot 10^7$
120	$(3 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(1 \pm 0,05) \cdot 10^7$
Зразок № 2 за тривалості оброблення, с:		
30 с	$(3 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(1 \pm 0,05) \cdot 10^7$
60	$(1 \pm 0,05) \cdot 10^7$	$(7 \pm 0,3) \cdot 10^7$
90	$(7 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$(2 \pm 0,1) \cdot 10^7$
120	$(1 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(6 \pm 0,3) \cdot 10^6$
Зразок № 3 за тривалості оброблення, с:		
30 с	$(2 \pm 0,1) \cdot 10^7$	$(5 \pm 0,2) \cdot 10^7$
60	$(8 \pm 0,3) \cdot 10^7$	$(2 \pm 0,1) \cdot 10^8$
90	$(6 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(9 \pm 0,3) \cdot 10^6$
120	$(2 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(3 \pm 0,3) \cdot 10^6$
Зразок № 4 за тривалості оброблення, с:		
30(Zn)+30(Mg)+30(Mn)	$(1 \pm 0,3) \cdot 10^8$	$(5 \pm 0,3) \cdot 10^8$
60(Zn)+60(Mg)+60 (Mn)	$(5 \pm 0,2) \cdot 10^6$	$(9 \pm 0,4) \cdot 10^6$

На наступному етапі вивчали вплив ферментованої сироватки, збагаченої Mg, Mn, Zn, на перебіг технологічного процесу та якість термокислотного сиру порівняно із контролем. Результати досліджень наведено у табл. 2.

Підтверджено позитивний вплив молочної сироватки, збагаченої мінеральними елементами, на тривалість ферментації, яка скорочується майже вдвічі. На рівні з цим відмічається збагачення термокислотного сиру магнієм, манганом і цинком, що сприятливо відображається на біологічній цінності продукту.

Перехід Mg, Mn і Zn з ферментованої сироватки у білковий згусток пояснюється їх залученням у процес зсідання білка. При чому Mg, який в електро-

хімічному ряді займає положення, наближене до Са, виконує роль структурують-ворюючих містків у зв'язуванні білків (по типу кальцієвих містків) за схемою -R-Mg-НРО4-Mg-R- або -R-Mg-НРО4-Mg-НРО4-Mg-R- (Болога, Врбане, & Степурина 2013).

Таблиця 2. Порівняльний аналіз впливу ферментованої сироватки, збагаченої Mg, Mn та Zn, на технологічний процес та якість термостійкого сиру

Показник	Величина показника	Порівняльне значення відносно зразка №1
	зразок №1	зразок №2
<i>Перебіг ферментації сироватки молочної</i>		
Тривалість ферментації до досягнення кислотності 150±5 °Т, год	32±0,5	- 2,0 рази
Чисельність лактобактерій, КУО/г, за тривалості ферментації, год		
12	(1±0,05)·10 ⁶	+(1·10 ²)
24	(1±0,05)·10 ⁷	+(5·10 ¹)
Вміст Mg у ферментованій сироватці, мг/кг	96,3±4,8	+ 2,0 рази
Вміст Mn у ферментованій сироватці, мкг/кг	2,8±0,1	+ 3,0 рази
Вміст Zn у ферментованій сироватці, мкг/кг	285±10,2	~
<i>Перебіг термостійкого зсідання білка</i>		
Втрати білка в сироватку після зсідання, %	26,7 ±1,0	- 6,0%
Вміст Mg у сироватці після зсідання, мг/кг	67,7±1,5	+20,0%
Вміст Mn у сироватці після зсідання, мкг/кг	1,4±0,05	+ 2,0 рази
Вміст Zn у сироватці після зсідання, мкг/кг	187,2±6,5	+30,0%
<i>Готовий продукт</i>		
Органолептичні показники	Відповідно до вимог діючої документації	Незначна зміна кольору сирної маси (ледь помітний сірий відтінок)
Фізико-хімічні показники:		
Масова частка вологи, %	58,0±1,0	~
Вміст Mg, мг/кг	112,8±3,1	+64%
Вміст Mn, мг/кг	0,51±0,01	+42%
Вміст Zn, мг/кг	45,0±0,5	+ 45%
Вихід сиру з 1 кг молока, г	110±0,5	+ 8,0%

Примітка: «+» — зростання показника; «-» — зниження показника; ~ – відсутність вираженої зміни.

На користь цього твердження свідчить зменшення втрат білка у сироватку молочну і підвищення виходу сиру. Незначні зміни вмісту кальцію в дослідних зразках свідчать, що магній не замінює його, а є додатковим чинником впливу на повноту використання білкових речовин.

Встановлені науково-технологічні аспекти інтенсифікації ферментації молочної сироватки внаслідок використання електроіскрового мінерального збагачення було покладено в основу технологічних рекомендацій щодо удосконалення способу виробництва кислої сироватки як коагулянта для термокислотного зсідання білків та розроблення апаратурно-технологічної схеми виробництва.

Ефективність заходу підтверджена розрахунковими економічними показниками. Встановлено, що недисконтований термін окупності проєкту становить майже 6 місяців, тоді як дисконтований термін окупності, що враховує фактор знецінення коштів, становить 10,4 місяця.

За критерієм індексу доходності, проєкт ефективний. Фактично в результаті реалізації проєкту підприємство отримує 5,76 грн дисконтованого доходу на 1 грн інвестиційних витрат. Внутрішня норма доходності також свідчить про високу ефективність проєкту і показує, що підприємство навіть може залучити позикові кошти для його реалізації загальною вартістю, що не перевищує 151% (середня ціна позикових ресурсів на фінансовому ринку становить близько 30%). Отже, навіть залучаючи позикові ресурси, проєкт залишатиметься прибутковим.

Висновки

Доведено скорочення тривалості ферментації майже вдвічі внаслідок збагачення молочної сироватки магнієм, манганом і цинком, що зумовлено зростанням важливих мікро- та макроелементів для живлення клітин лактобактерій.

Запропонована технологія кислої сироватки як коагулянта для термокислотних сирів порівняно з діючою технологією надає такі переваги: скорочує вдвічі технологічний цикл виготовлення коагулянта; збільшує коефіцієнт використання технологічного устаткування; не потребує значних площ для встановлення технологічного комплексу для електроіскрового оброблення та зменшує потреби у резервуарах (ферментерах) внаслідок зменшення тривалості сквашування; забезпечує більш повне використання білкового потенціалу молочної сировини та відповідне зростання виходу термокислотного сиру до 8,0%; збагачує молочно-білковий продукт цінними мінеральними елементами, і, як наслідок, підвищує його біологічну цінність.

Ефективність запропонованої технології доведена економічними показниками.

Подяка

Робота була виконана в рамках науково-дослідної тематики, що фінансується з державного бюджету «Наукове обґрунтування та розроблення ресурсоефективних технологій харчової продукції цільового призначення як імператив продовольчої безпеки України» (ДРН 0123U102060).

Література

González-Weller, D., Paz-Montelongo, S., Bethencourt-Barbuzano, E., Niebla-Canelo, D., Alejandro-Vega, S., Gutiérrez, Á. J., Hardisson, A., Carrascosa, C., Rubio, C. (2023) Proteins and minerals in whey protein supplements. *Foods*, 12(11), 2238. <https://doi.org/10.3390/foods12112238>.

Грек, О. В., Онопрійчук О. О. (2020) *Наукові основи безвідходних технологій відновлюваної сировини*. Київ: НУХТ, 323 с.

Пирог, Т. П. (2010) *Загальна мікробіологія*. Київ: НУХТ.

Stehlik-Tomas, V., Zetic, V. G., Stanzer, D., Grba, S., Vahcic, N. (2004) Zinc, Copper and Manganese Enrichment in Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 115—120.

Birch, R. M. Ciani, M., Walker, G. M. (2003) Magnesium, Calcium and Fermentative Metabolism in Wine Yeasts. *Journal of Wine Research*, 14(1), 3—15.

Карпугіна, М. В., Романова, З. М., Сидор, В. М., Карпугіна, Д. Д. (2012) Сучасні способи активації процесів розмноження та ферментації пивоварних дріжджів. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 28, 125—130.

Кошова, В. М., Яжло, В. С., Каплуненко, В. Г., Огородник, Ю. І. (2015) Підвищення бродильної активності пивоварних дріжджів за допомогою наноаквахелату цинку. *Східно-європейський журнал передових технологій*, 10(76), 40—44.

Góral M., Kozłowicz K., Pankiewicz U., Góral D. (2018) Magnesium enriched lactic acid bacteria as a carrier for probiotic ice cream production. *Food Chemistry*, 239, 1151—1159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.053>.

Кочубей-Литвиненко, О. В., Чернюшок, О. А. (2017) Електрофізичний спосіб збагачення сухої молочної сироватки мінеральними елементами. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій імені Гжицького С. З. Серія: Харчові технології*, 19(75), 115—119.

Лопатько, К. Г., Афтандіянц, Є. Г., Зазимко, О. В., & Трач, В. В. (2016). Фізика, синтез та біологічна функціональність нанорозмірних об'єктів: монографія. Київ: Вид-во НУБіП України.

Walker, G. M. (1994) The Roles of Magnesium in Biotechnology. *Critical Reviews in Biotechnology*, 14(4), 311—354.

Болога, М. К., Врбане, Е. Г., Степурина, Т. Г. (2013) Особенности минерализации белковых концентратов при электрофизической обработке молочной сыворотки. *Электронная обработка материалов*, 49(6), 61—65.