

УДК 664.663.9

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.183712

Вивчення впливу електроіскрового оброблення молочної сироватки на процес її ферментації та якість термокислотного сиру

О. В. Кочубей-Литвиненко, О. А. Чернюшок, О. А. Білик, Ю. В. Бондаренко

Досліджено вплив електроіскрового диспергування струмопровідних гранул магнію і мангану в середовищі молочної сироватки на процес її ферментації у технології м'яких термокислотних сирів по типу «Адигейського».

Об'єктом дослідження була молочна сироватка, отримана внаслідок термокислотного осадження сирів. Для приготування коагулянта її обробляли в електророзрядній камері зі струмопровідним прошарком гранул магнію або/і мангану з експозицією 30...120 с.

Встановлено, що за такої обробки у молочній сироватці збільшується вміст Магнію в середньому від 1,8 до 4 рази і Мангану від 1,5 до 3,8 разів залежно від тривалості оброблення.

Доведено, що для усіх досліджуваних зразків характерним було природнє зростання титрованої кислотності протягом ферментації. Проте в зразках, збагачених мінеральними елементами внаслідок електроіскрового оброблення протягом 30...60 с, зростання титрованої кислотності відбувалося інтенсивніше. Аналогічні результати було отримано за використання молочної сироватки з-під сиру кисломолочного. Хоча на початкових етапах ферментації (0...6 годин) наростання кислотності було децю повільнішим, що має об'єктивне пояснення впливу підвищеної кислотності вихідної сироватки (50...60 °Т) на лактобактерії.

Встановлено, що у разі використання запропонованої технології кислої сироватки-коагулянта у виробництві термокислотних сирів, суттєво скорочується виробничий цикл.

Також спостерігається підвищення коефіцієнту використання технологічного обладнання та ресурсів до нього. Дана технологія не потребує значних площ для запровадження інноваційного електрофізичного способу, а навпаки, внаслідок скорочення тривалості ферментації сприяє зменшенню кількості ємностей, які задіяні під час приготування коагулянта.

Встановлено, що використання кислої сироватки, виробленої із сировини збагаченої магнієм і манганом, в технології термокислотного сиру сприяє його збагаченню цінними мінеральними елементами. А також забезпечує повніше використання білкового потенціалу молока і, як наслідок, зростання виходу термокислотного сиру на 1,8...6,5 %

Ключові слова: молочна сироватка, електроіскрові розряди, магній, манган, м'який термокислотний сир

1. Вступ

Розвиток тенденцій здорового харчування призвели до зростання популярності серед споживачів м'яких термокислотних сирів, таких як Рікотта, Рікото-

не, Маскарпоне, Адигейський та інш. [1]. Сири, вироблені термокислотним зсіданням молочної сировини, характеризуються гарними споживчими властивостями, мають високу біологічну цінність і нижчу собівартість порівняно з твердими сирами.

Виробництво м'яких термокислотних сирів має ряд переваг порівняно з виробництвом твердих сичужних сирів, а саме: потребує менших витрат сировини, до сировини не приділяються специфічні вимоги до сиропридатності. Під час їх виробництва скорочуються такі технологічні операції, як сичужне зсідання молока, розрізання згустку, постановка зерна, визрівання. Це значно знижує працездатність технологічного процесу, забезпечує швидке повернення вкладених коштів з меншими виробничими затратами [2].

Тому інтерес до технології термокислотних сирів як у науковців, так й у виробників не згасає.

Згідно з технологією адигейського сиру в якості кислотного агента (коагулянта) використовується кисла сироватка. Процес її ферментації для досягнення належної кислотності (150...180 °С) може тривати до 48 годин [3], що значно збільшує тривалість технологічного циклу, потребує певних виробничих площ для приготування та зберігання коагулянта.

Розробки, що передбачають інтенсифікацію виробництва термокислотного сиру, зокрема приготування молочної сироватки-коагулянта без використання органічних кислот та харчових добавок, вкрай обмежені. Відсутні дані щодо використання інноваційних методів оброблення молочної сироватки, що спрямовані на формування її цільових властивостей, які забезпечують прискорення ферментації під час виробництва термокислотного сиру.

Перспективним напрямом удосконалення технології термокислотного сиру є пошук шляхів інтенсифікації виробництва кислої сироватки створенням у ферментованому середовищі сприятливих умов для зростання молочнокислої мікрофлори. Це можна досягти збагаченням молочної сироватки мінеральними елементами, які слугують поживним середовищем для мікроорганізмів, сприяють зростанню біомаси молочнокислих бактерій та інтенсифікують процес кислотоутворення. Такими біологічно цінними мінеральними елементами для лактобактерій є магній і манган. Тому актуальним є дослідження впливу молочної сироватки, збагаченої цими елементами, на перебіг ферментації та якість термокислотного сиру.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В роботі [4] обґрунтовано технологічні аспекти та режими збагачення термокислотної сирної маси молочнокислою мікрофлорою з метою підвищення біологічної цінності продукту. Автор приділив увагу підбору заквашувальної культури для отримання ферментованого середовища, визріванню молока перед термокислотним осадженням, дослідженню впливових чинників ферментації на властивості сирної маси, вихід сиру та термін його зберігання [5]. Проте питання приготування кислої сироватки та скорочення тривалості даної технологічної операції в роботах [4, 5] не розглядалися через те, що об'єктом досліджень виступала технологія термокислотного сиру, а не коагулянта.

Автор праці з даної проблематики [6] вивчав основні закономірності термокислотного зсідання молока з використанням різних коагулянтів та розробив наукові основи технології м'якого сиру із знежиреного молока та підсирних вершків. В роботі встановлено закономірності та режими термокислотного згортання білків молока використанням в якості коагулянтів молочної, хлорної, оцтової кислот та молочної сироватки. Вивчено їх вплив на ступінь використання білків молока, реологічні і синергетичні властивості згустків. Запропоновані підходи на рівні із підвищенням біологічної цінності сиру дозволили скоротити виробничий цикл та отримати значний економічний ефект. Але застосування неорганічних та органічних кислот, особливо хлорної кислоти, є неприйнятним з погляду на безпеку готового продукту. А також витрати на ці коагулянти перевищує вартість та затрати на приготування кислої сироватки.

В роботі [7] наведено спосіб збільшення виходу готової продукції за рахунок використання в якості коагулянта суміші плодово-ягідних соків і молочної сироватки. Авторами роботи доведено, що такі сири характеризуються гарними органолептичними властивостями. Отриманий продукт дійсно розширює асортиментний ряд термокислотних сирів, проте його не можна віднести до традиційних видів.

В роботі [8] наведено порівняльний аналіз складу та властивостей сиру моцарела, виготовленого із застосуванням сичужного ферменту та соку ківі в якості коагулянта. Показано, що вихід сиру у разі застосування соку ківі менший порівняно із виходом сиру, виготовленого сичужним згортанням. Проте застосування соку збагачує продукт біологічно цінними компонентами та надає продукту функціональних властивостей. Запропонований продукт розширює асортиментний ряд сирів функціонального призначення, не потребує тривалого часу для приготування коагулянту, проте його вартість вища ніж за використання кислої сироватки в якості коагулянта.

Відомо, що для приросту біомаси лактобактерій та інтенсифікації кислотоутворення потрібні мінеральні елементи в доступній для засвоєння формі. Мікробіальним клітинам у великій кількості для життєдіяльності та зростання потрібні макроелементи: карбон, нітроген, кисень, водень, фосфор, сульфур, калій, кальцій, магній та мікроелементи: цинк, манган, натрій, хлор, молібден, селен та інші [9, 10].

Молочна сироватка багата переліченими макро- та мікроелементами [11], хоча кількість магнію і мангану є недостатньою для живлення мікроорганізмів. Магній і Манган приймають участь у каталітичній дії багатьох одно- й двокомпонентних ферментів [12]. Ці елементи здатні активізувати і стабілізувати дію майже усіх ферментів дріжджової клітини та стабілізують клітинну мембрану [13]. Магній і Манган прискорюють приріст біомаси мікроорганізмів, перебуваючи у складі живильного середовища, запобігають автолізу клітин та необхідні для нормального перебігу обмінних процесів. Відомо, що ці елементи є факторами росту для лактобактерій та дріжджів [13] і сприяють керованому проходженню катаболізму вуглеводів, особливо під час спиртового бродіння тощо [14].

В роботі [15] показано, що збагачення штамів мікроорганізмів *Lactobacillus rhamnosus* і *Lactococcus lactis* іонами 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. Зазначене вище підтверджує доцільність збагачення молочної сироватки Магнієм і Манганом для прискорення ферментації.

Поповнення дефіциту мінеральних речовин у продовольчій сировині та готових продуктах, як правило, відбувається за рахунок внесення солей неорганічних кислот. Однак більшість відомих препаратів погано розчиняються у воді, мають неприємний гіркий смак, що може негативно вплинути на органолептичні властивості харчових продуктів, та є неприпустимим відповідно до вимог збагачення харчових продуктів [16]. До того ж Магній і Манган в неорганічних сполуках має низьку біологічну доступність, а, як відомо, до основних ознак біоелементів відносять саме їх високу засвоюваність та відповідну форму знаходження в організмі [16].

Дослідження в галузі нанотехнологій доводять, що фактором впливу на підвищення біологічної активності мінеральних елементів є розмір частинок [17]. Сучасні наукові досягнення відкривають широкі перспективи для виробництва та використання нових форм нанопрепаратів біогенних металів. До них відносяться гідратовані чи цитратовані наночастинки металів, отримані обробленням електрофізичними способами, а саме: ерозійно-вибуховою нанотехнологією [18, 19] та електроіскровим диспергуванням струмопровідних гранул металів [20, 21].

Застосування водних колоїдних розчинів металів в технології молочних продуктів, нераціональне з огляду на додаткове додавання води. Перспективним в цьому напрямі є збагачення молочної сироватки Магнієм і Манганом внаслідок електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металу безпосередньо в її середовищі [22].

Тому в даному напрямі перспективним є залучення електроіскрового збагачення молочної сироватки технологічно цінними мінеральними елементами до виробництва сироватки-коагулянта для осадження молочно-білкового сирного згустку. Відомостей про застосування електроіскрового оброблення молочної сироватки для інтенсифікації ферментації під час виробництва коагуляната не виявлено.

3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є обґрунтування доцільності використання електроіскрового оброблення молочної сироватки в реакційній камері із струмопровідним прошарком магнію і/або мангану для інтенсифікації її ферментації і скорочення тривалості виробничого циклу термокислотних сирів.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– дослідити в порівняльному аспекті процес ферментації молочної сироватки, обробленої електроіскровими розрядами в реакційній камері зі струмопровідним прошарком магнію і/або мангану та обґрунтувати тривалість електроіс-

крового оброблення для забезпечення інтенсифікації ферментації молочної сироватки;

– вивчити вплив отриманої кислої сироватки на якісні показники термокислотного сиру по типу «Адигейського».

4. Матеріали і методи дослідження впливу електроіскрового оброблення на ферментацію сироватки та якість термокислотного сиру

4. 1. Досліджувані об'єкти і матеріали, що використовуються в експерименті

В якості об'єкта для дослідження процесу ферментації під час виробництва сироватки-коагулянта було обрано молочну сироватку, отриману внаслідок термокислотного осадження сирів, яка вважається найбільш сприйнятливим середовищем для культивування молочнокислих бактерій [23, 24].

Молочну сироватку перед ферментацією фільтрували, обробляли в електроіскровій розрядній камері за одним із варіантів:

- 1) зі струмопровідним прошарком гранул мангану (далі – зразок 1);
- 2) зі струмопровідним прошарком гранул магнію (далі – зразок 2);
- 3) зі струмопровідним прошарком гранул магнію і мангану (далі – зразок 3).

Електроіскровий спосіб оброблення реалізовували на експериментальній лабораторній установці. До її складу входить тиристорний генератор розрядних імпульсів, реакційна камера з магнієвою або мангановою електродними системами та струмопровідним шаром гранул відповідних металів, блоку управління.

В якості накопичувача енергії використовувався конденсатор ємністю від 25 до 100 мкФ [25].

Подача напруги на основні електроди викликала проходження електричного струму по колу вільно розташованих гранул металів у режимі стохастичної комутації. Використання низької напруги та невеликих міжелектродних проміжків, дає змогу забезпечувати режими, в яких до 85 % усієї накопиченої енергії на конденсаторі використовується для локального розігрівання поверхні контактуючих гранул та їх диспергування [20].

Експозицію електроіскрового оброблення в розрядних камерах змінювали від 30 до 120 с.

Далі оброблену молочну сироватку пастеризували, охолоджували і заквашували чистими культурами *Lactobacillus acidophilus*. Ферментацію здійснювали за температури 40 ± 2 °С впродовж 36 годин.

Для приготування кислої сироватки було обрано чисті культури *Lactobacillus acidophilus*, що характеризуються високим рівнем кислотоутворення (межа кислотоутворення сягає вище 300 °Т), що важливо для обробленої сироватки з підвищеним рН за рахунок накопичення частинок металів. Водночас ця культура є активним антагоністом щодо сторонньої мікробіоти і може забезпечити безпечність готового продукту [4].

В якості контролю використовували ферментовану молочну сироватку, приготовлену без залучення електроіскрового оброблення сировини (далі – контроль).

4. 2. Методи досліджень властивостей ферментованої молочної сироватки та термокислотного сиру

Органолептичні та фізико-хімічні показники молочної сироватки та термокислотного сиру визначали стандартними методами.

Вміст металів у зразках сироватки та сиру визначали в лабораторії аналітичної хімії та моніторингу токсичних речовин ДУ «Інститут медицини праці НАМН України» методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою на приладі Optima 210 DV (Perkin Elmer, США).

Розмір частинок встановлювали на аналізаторі дисперсності частинок Malvern Instruments Ltd., Великобританія з кутом детектування 173°, гелій-неоновим лазером He-Ne потужністю 4 мВт з довжиною хвилі 633 нм. Зразки поміщали в одноразові кювети з полістиролу. Всі вимірювання в даному дослідженні здійснювалися за температури 25 °С. Для контролю повторюваності результатів для кожного зразка було виконано не менше трьох-п'яти вимірів. Розподіл за розмірами в одиницях інтенсивності були отримані з аналізу кореляційних функцій з використанням алгоритму General purpose програмного забезпечення аналізатора Zetasizer Software 6.20.

рН визначали на іонімірі універсальному И-160 М; окисно-відновний потенціал – платиновим електродом на іонімірі універсальному ЕВ-74.

Кількість молочнокислих бактерій визначали за загально прийнятою методикою [26].

Результати експериментальних досліджень піддавалися статистичній обробці, реалізованої за допомогою стандартних пакетів програм Microsoft Office (2010).

5. Результати досліджень впливу електроіскрового оброблення сироватки на тривалість ферментації та якість сиру

Встановлено, що за умови електроіскрового оброблення з експозицією від 30 до 120 °С у молочній сироватці збільшується вміст Магнію та Мангану в залежності від тривалості оброблення. Так, кількість Магнію зростає в середньому від 1,8 до 4 рази, а вміст Мангану – від 1,5 до 3,8 разів.

Відмічено зростання рН і зміна окисно-відновного потенціалу в обробленій сироватці (підвищення антиоксидантних властивостей). Це може свідчити як на користь проходження в системі процесу $M \leftrightarrow M^{n+} + ne$; так й ймовірного комплексоутворення між іонами металів і біолігандами, що присутні в молочній сироватці. Зміна рН та ОВ-потенціалу вказує на утворення речовин, що володіють антиокисними (відновлювальними) властивостями, наприклад лактобіонової кислоти [25]. Причому з підвищенням експозиції такі властивості стають більш відчутними.

Дисперсним аналізом дослідних зразків сироватки встановлено, що середній розмір частинок молочної сироватки до та після оброблення суттєво не відрізнявся.

Відомо, що ефективність каталітичної дії металів на окислення лактози може залежати від розміру диспергованих в сироватці частинок металів [17]. Тому додатково встановлювали середній гідродинамічний розмір частинок ма-

гнію і мангану в водних розчинах, отриманих електроіскровим обробленням за подібних до сироватки параметрів. Встановлено, що колоїдні розчини магнію і мангану мали частинки в нано- (близько 30 нм) і мікророзмірному діапазоні (від 100 нм до 10 мкм). При цьому середній розмір частинок в колоїдному розчині магнію складав 118 ± 5 нм, мангану – 270 ± 11 нм.

Для встановлення впливу електроіскрового оброблення на кислотоутворюючі властивості *Lbc. acidophilus* визначали титровану кислотність молочної сироватки через кожні 6 годин ферментації за температури 40 ± 2 °С.

Динаміка змін титрованої кислотності в досліджуваних зразках ферментованої молочної сироватки в залежності від вихідних параметрів наведена на рис. 1–3.

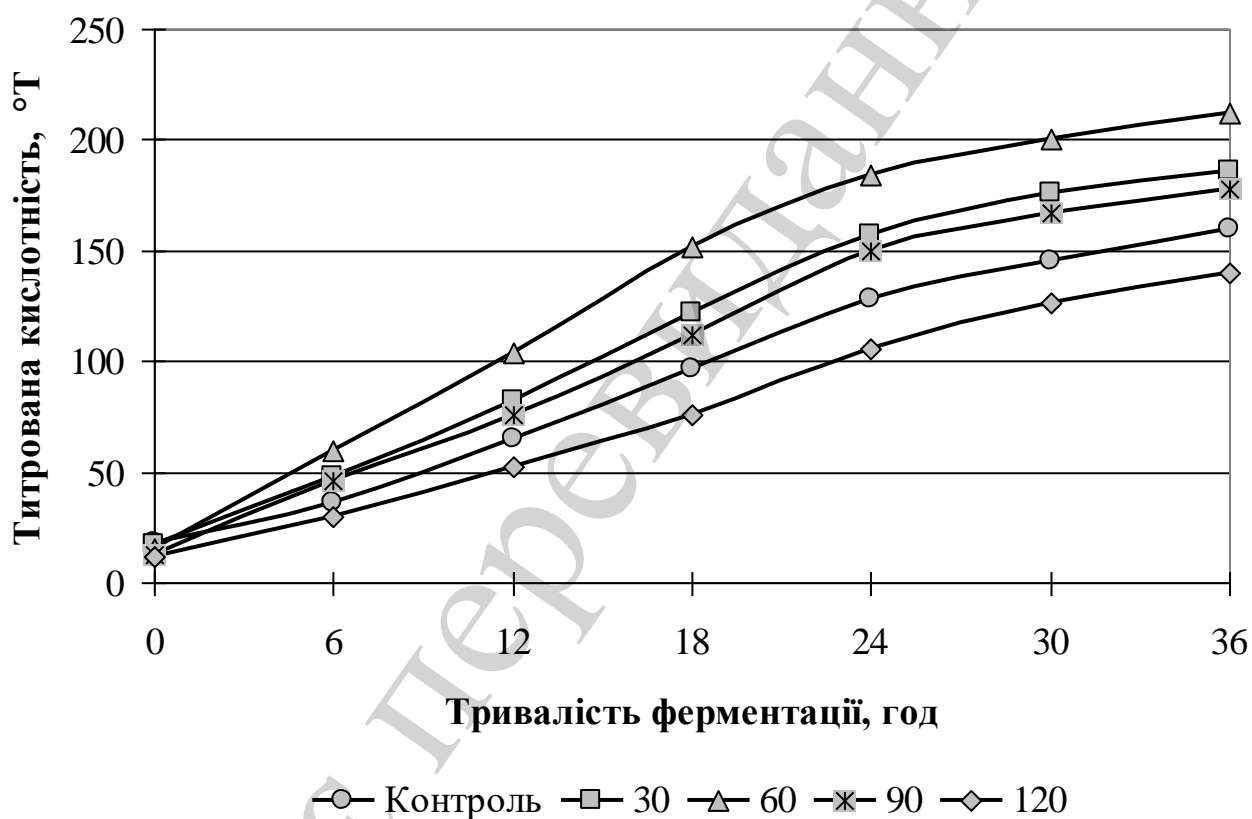


Рис. 1. Динаміка ферментації молочної сироватки, обробленої в розрядній камері зі струмопровідним шаром гранул Mn в порівнянні із необробленою молочною сироваткою

Встановлено, що для усіх досліджуваних зразків характерним було природне зростання титрованої кислотності протягом ферментації. Проте в зразках, збагачених мінеральними елементами внаслідок електроіскрового оброблення протягом 30...60 с, приріст титрованої кислотності (ΔT) у часі був більш інтенсивним. Так, через 24 години ферментації в дослідних зразках № 1 ΔT складало від 140 до 169 °Т залежно від тривалості оброблення; в зразках № 2 – від 122 до

136 °Т, в зразках № 3 – від 140 до 171 °Т. Тоді, як в контролі через добу ферментації титрована кислотність зростає лише на 110 °Т.

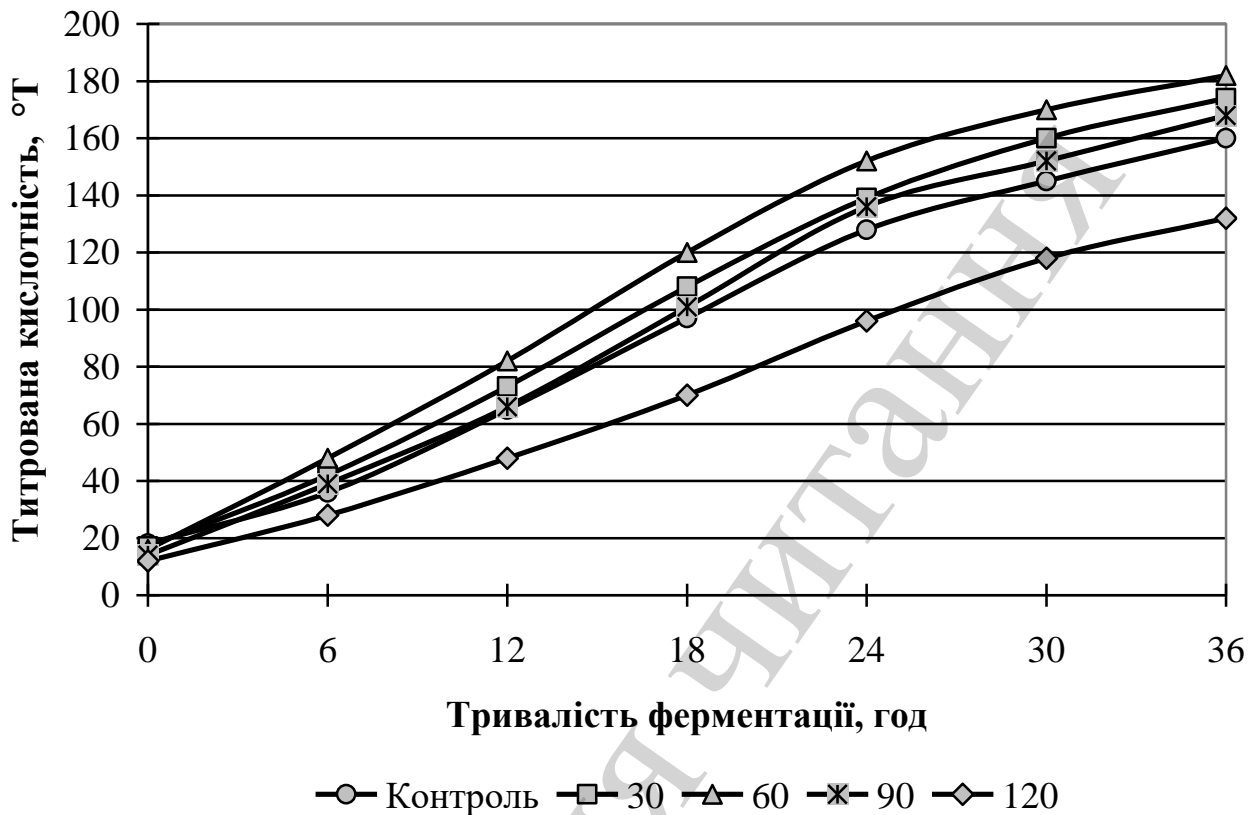


Рис. 2. Динаміка ферментації молочної сироватки, обробленої в розрядній камері зі струмопровідним шаром гранул Mg в порівнянні із необробленою молочною сироваткою

Відмічено, що із збільшенням тривалості оброблення до 120 с внаслідок зростання кількості металевих частинок у мікророзмірному діапазоні і, як наслідок, зміщення рН у вихідній сироватці в лужний бік, ферментація відбувалася повільніше.

Встановлено, що найвищу кислотоутворюючу активність *Lbc. acidophilus* проявляли в сироватці, обробленій в розрядній камері зі струмопровідними гранулами Mn протягом 60 с, та в сироватці, збагаченій обома мінеральними елементами.

При чому, слід відмітити синергетичну дію Магнію і Мангану на інтенсивність ферментації, що зумовлено зростанням важливих поживних мікро- та макроелементів для побудови компонентів живих клітин лактобактерій у доступній для засвоєння формі.

Менш повільне зростання кислотності в зразках, збагачених магнієм, можна пояснити тим, що протягом 30...60 с оброблення сироватка збагачується Mg у кількості недостатній для живлення культур *Lbc. acidophilus*. Зі збільшенням часу оброблення і, відповідно, кількості цінного мікроелементу, зростає як рН

середовища, так й кількість мікрочастинок, що негативно відображається на процесі ферментації.

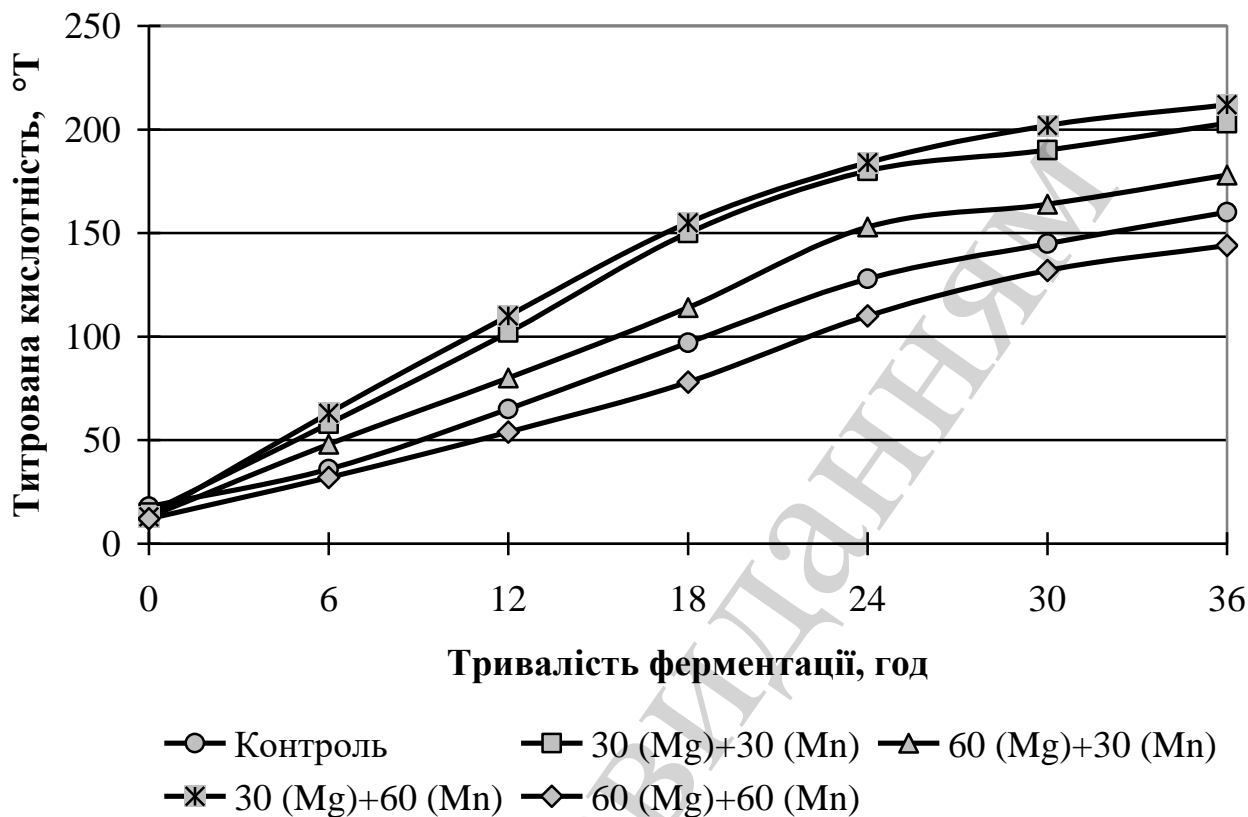


Рис. 3. Динаміка ферментації молочної сироватки, послідовно обробленої розрядних камерах зі струмопровідним шаром гранул Mg і Mn в порівнянні із необробленою молочною сироваткою

Виявлено, що належної кислотності (150...170 °Т) для осадження білків під час виробництва термокислотних сирів, молочна сироватка, збагачена магнієм і/або манганом набуває через 12...18 годин, тоді як контроль – через 30 годин ферментації.

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

Слід також відмітити, що подібна тенденція до інтенсифікації ферментації під час виробництва сироватки-коагулянта відмічалася й за використання молочної сироватки з-під сиру кисломолочного. Хоча на початкових етапах ферментації (0...6 годин) наростання кислотності було дещо повільнішим, що має об'єктивне пояснення впливу підвищеної кислотності вихідної сироватки (50...60 °Т) на лактобактерії і узгоджується з даними інших дослідників [23].

Враховуючи отриманий позитивний ефект подальші дослідження були присвячені вивченню впливу ферментованої сироватки, збагаченої мінеральними елементами, на якісні показники термокислотного сиру.

Таблиця 1

Зміна чисельності молочнокислої мікрофлори під час ферментації молочної сироватки, обробленої електроіскровими розрядами за різних параметрів (тривалість, вид електродної системи)

Найменування зразка	Чисельність лактобактерій, КУО/г, за тривалості ферментації, год	
	12	24
Молочна сироватка ферментована	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$
Молочна сироватка ферментована, збагачена Mn за тривалості оброблення, секунд:		
30	$8 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^7$
60	$4 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^8$
90	$1 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^7$
120	$3 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$
Молочна сироватка ферментована, збагачена Mg за тривалості оброблення, секунд:		
30	$3 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$
60	$1 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^7$
90	$7 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^7$
120	$1 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$
Молочна сироватка ферментована, збагачена Mg і Mn за тривалості оброблення, секунд:		
30 (Mg)+30 (Mn)	$6 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^7$
60 (Mg)+30 (Mn)	$5 \cdot 10^7$	$9 \cdot 10^7$
30 (Mg)+60 (Mn)	$7 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^8$
60 (Mg)+60 (Mn)	$2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$

З цією метою виробляли дослідні лабораторні зразки сиру по типу адигейського з використанням:

- ферментованої молочної сироватки необробленої (контроль);
- ферментованої молочної сироватки, виготовленої із молочної сироватки, обробленої в розрядній камері зі струмопровідним прошарком гранул мангану протягом 60 с (зразок 2);
- ферментованої молочної сироватки, виготовленої із молочної сироватки, послідовно обробленої в розрядній камері зі струмопровідним прошарком гранул магнію протягом 30 с та із струмопровідним прошарком гранул мангану протягом 60 с (зразок 3).

Кислу сироватку (вироблену за одним із трьох варіантів) з титрованою кислотністю 150 ± 5 °Т вносили під час постійного перемішування у підготовлену пастеризовану за температури 93...95 °С нормалізовану молочну суміш у кількості 8...10 %. Решта технологічних операцій відповідала технології адигейського сиру [3].

Результати аналізу впливу ферментованої сироватки, збагаченої магнієм і/або манганом, на технологічний процес та якість вироблених зразків термокислотного сиру порівняно із контролем, наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз впливу ферментованої сироватки, збагаченої Mg і/або Mn, на технологічний процес та якість термокислотного сиру «Адигейський», $n=3$, $p \leq 0,95$

Показник	Величина показника	Порівняльне значення відносно зразку 1	
		Зразок 1 (контроль)	Зразок 2
Перебіг ферментації кислої сироватки			
Тривалість ферментації до досягнення кислотності 150 ± 5 °Т, годин	$32 \pm 0,5$	-1,7 рази	-1,8 рази
Вміст Mg у ферментованій сироватці, мг/кг	$96,3 \pm 4,8$	~	+2,0 рази
Вміст Mn у ферментованій сироватці, мкг/кг	$2,8 \pm 0,1$	+3,0 рази	+3,0 рази
Вміст Ca у ферментованій сироватці, мкг/кг	$853 \pm 10,2$	~	~
Перебіг термокислотного осадження білка			
Втрати білка, в сироватку після осадження, %	$26,7 \pm 1,0$	~	-6,4 %
Вміст Mg в сироватці після осадження, мг/кг	$67,7 \pm 1,5$	~	+20,2 %
Вміст Mn в сироватці після осадження, мкг/кг	$1,4 \pm 0,05$	+2,3 рази	+2,0 рази
Вміст Ca в сироватці після осадження, мкг/кг	$327,2 \pm 6,5$	~	~
Готовий продукт			
Органолептичні показники	Відповідно вимогам діючої документації	~	Незначна зміна кольору сирної маси (ледь помітний сірий відтінок)
Фізико-хімічні показники:			
М.ч. вологи, %	$58,0 \pm 1,0$	~	~
Вміст Mg, мг/кг	$112,8 \pm 3,1$	~	+64 %
Вміст Mn, мг/кг	$0,51 \pm 0,01$	+35 %	+42 %
Вміст Ca, мкг/кг	$2765,0 \pm 55,0$	~	~
Вихід сиру з 1 кг молока, г	$110 \pm 0,5$	+1,8 %	+ 6,5 %
Мікробіологічні показники	Відповідно вимогам діючої документації		

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

Таким чином, результати досліджень наростання кислотності та чисельності лактобактерій в дослідних зразках молочної сироватки засвідчили можливість скорочення тривалості ферментації майже у 2 рази внаслідок:

1) попереднього оброблення молочної сироватки перед ферментацією електроіскровими розрядами у реакційній камері із струмопровідним прошарком гранул мангану протягом 60 с;

2) оброблення молочної сироватки перед ферментацією в реакційній камері зі струмопровідним прошарком гранул магнію протягом 30 с та подальше оброблення в камері із струмопровідним прошарком гранул мангану протягом 30...60 с.

Відмічено, що використання кислої сироватки, виробленої із сировини збагаченої магнієм і манганом, в технології термокислотного сиру сприяє його збагаченню цінними мінеральними елементами. А також забезпечує повніше використання білкового потенціалу молока і, як наслідок, зростання виходу термокислотного сиру на 1,8...6,5 %.

6. Обговорення результатів впливу електроіскрового оброблення молочної сироватки на процес її ферментації та якість термокислотного сиру по типу «Адигейського»

Отримані дані узгоджуються з результатами робіт [1, 14, 27] і свідчать про позитивний вплив збагачення ферментаційного середовища Магнієм і Манганом на інтенсифікацію біотехнологічних процесів. Це, зокрема, можна пояснити збільшенням концентрації Магнію по відношенню до Кальцію, оскільки, як відомо, ці два метали є антогоністами в біохімічних функціях [28]. Так, у контролі співвідношення Mg:Ca складало з 1:9,1, тоді, як молочної сироватці, послідовно обробленій електроіскровими розрядами в реакційних камерах з магнієвою і мангановою електродними системами це співвідношення дорівнює 1:4,7.

Перехід Mg і Mn з ферментованої сироватки у білковий згусток, пояснюється їх залученням у процес осадження білка. При чому, Mg, який в електрохімічному ряді, займає положення наближене до кальцію, виконує роль структуроутворюючих містків у зв'язуванні білків по типу кальцієвих містків за схемою -R-Mg-НРО₄-Mg-R- або -R-Mg-НРО₄-Mg-НРО₄-Mg-R- [29, 30]. На користь цього твердження, свідчать зменшення (хоча й не значне) втрат білка у молочну сироватку і підвищення виходу сиру. Незначні зміни у кількості Ca у дослідних зразках, свідчать, що Mg не замінює кальцій, а є додатковим чинником, що сприяє повноті використання білкових речовин.

Роль Mn у зв'язуванні білкових речовин малоімовірна. Незначне його зростання у сирному згустці, пояснюється залученням до формування сирної маси разом із плазмою (ферментованою сироваткою), збагаченою цим елементом.

Отже, доведено, що електроіскрове оброблення молочної сироватки перед ферментацією в декілька разів зменшує витрати часу, які необхідні для виробництва сироватки-коагулянта. Як наслідок, суттєво скорочується тривалість технологічного процесу виробництва термокислотних сирів і знижується їх собівартість.

Використання ферментованої сироватки, попередньо обробленої електроіскровими розрядами в реакційних камерах зі струмопровідним прошарком маг-

нію і мангану, в технології термокислотних сирів сприяє незначному збільшенню виходу сиру та збагаченню його цінними мінеральними елементами.

З огляду на зазначене, пріоритетним є використання в технології приготування сироватки-коагулянта молочної сироватки, послідовно обробленої в розрядних камерах з магнієвою і мангановою електродними системами. Хоча отримані результати не виключають доцільності використання сироватки, збагаченої манганом внаслідок електроіскрового оброблення з метою інтенсифікації ферментації сироватки.

Принципова технологічна схема виробництва кислої молочної сироватки із залученням способу електроіскрового збагачення сировини магнієм і/або манганом, наведена на рис. 4.

Розроблена технологія кислої сироватки не обмежує її використання лише виробництвом термокислотних сирів. Можливі напрями перероблення ферментованої сироватки, виробленої із залученням електроіскрових розрядів, наведено на рис. 5.

Технологічний процес виробництва кислої сироватки рекомендовано здійснювати у такій послідовності:

- 1) підготовка молочної сироватки;
- 2) її підігрівання до температури 35...40 °С;
- 3) сепарування для видалення жиру;

4) електроіскрове оброблення знежиреної молочної сироватки на експериментальному технологічному комплексі в реакційній камері зі струмопровідним прошарком гранул магнію і/або мангану. Параметри оброблення: напруга зарядки конденсатора 80...100 В, ємність конденсатора – 100 мкФ, міжелектродний проміжок 0,01–0,1 мм, температура 25±5 °С. Рекомендована тривалість оброблення у розрядній камері зі струмопровідним прошарком Mg – 30 с і/або 60 с у розрядній камері зі струмопровідним прошарком Mn;

- 5) пастеризація за температури 80±2 °С;

- 6) охолодження до температури сквашування;

7) заквашування і сквашування чистими культурами *Lactobacillus acidophilus* (за потреби можливе використання чистих культур *Lbc. Bulgaricum*, *Lbc. Helveticum*) до наростання кислотності не менше ніж 150...170 °Т.

У разі використання для виробництва сироватки-коагулянта молочної сироватки з-під сиру кисломолочного після збирання її одразу спрямовують на перероблення, зберігати її не рекомендується.

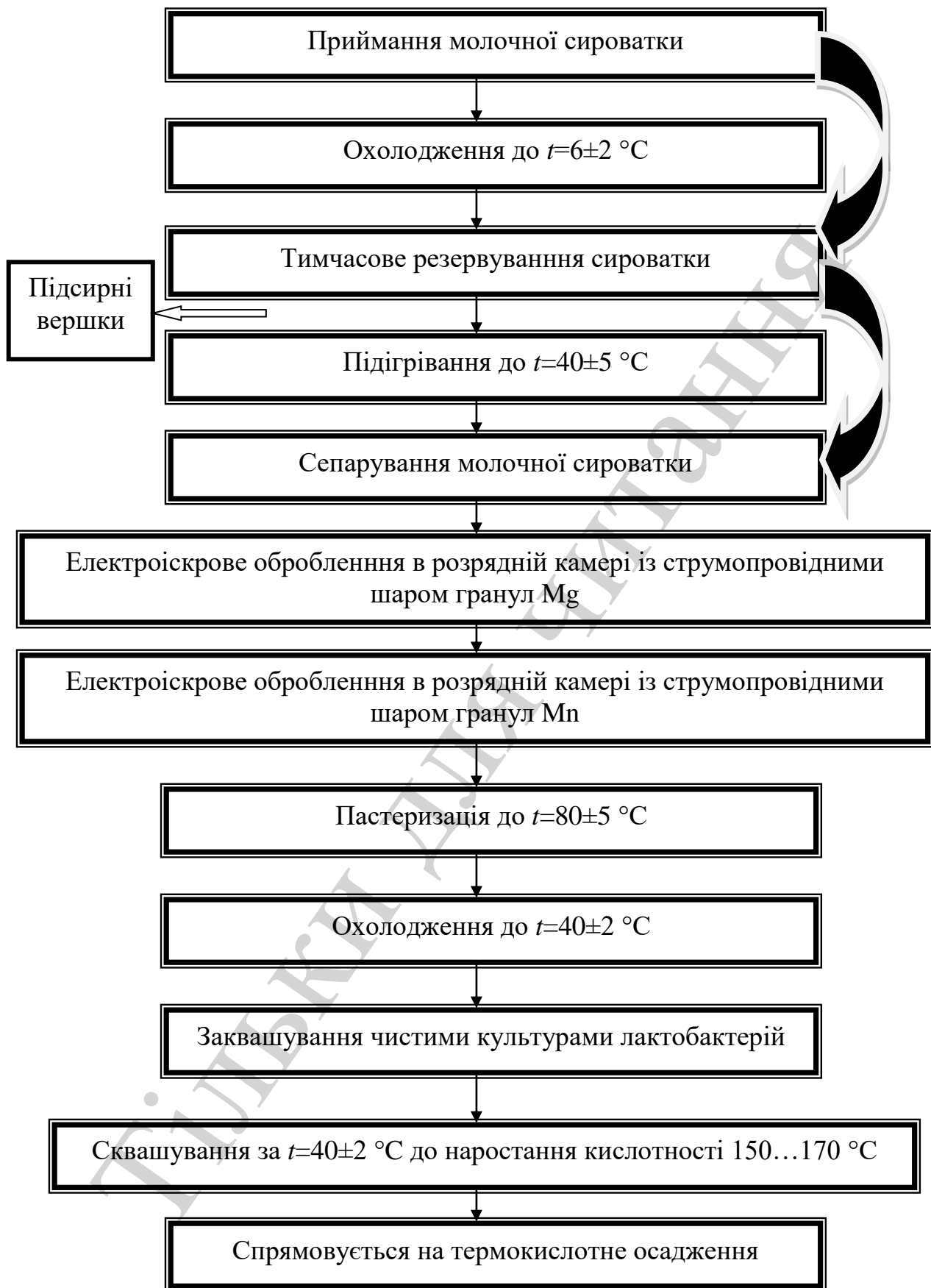


Рис. 4. Принципова технологічна схема виробництва кислої молочної сироватки для термокислотного осадження білків із залученням електроіскрового оброблення сировини

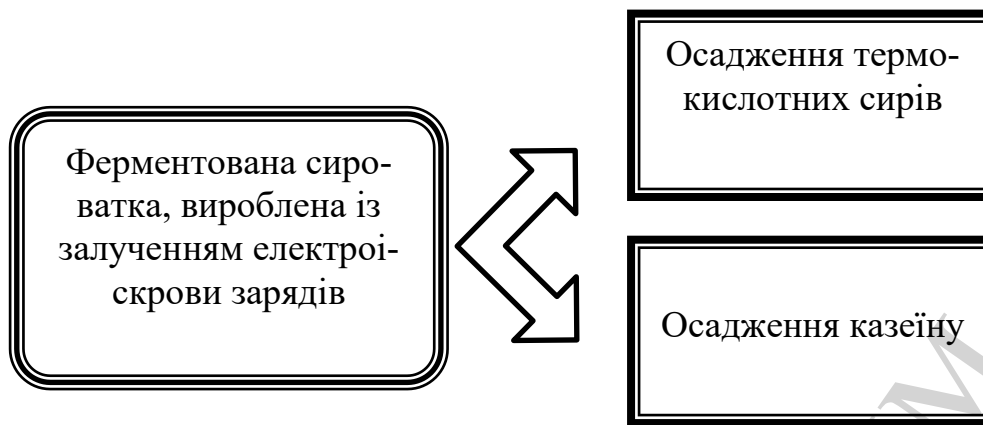


Рис. 5. Шляхи використання ферментованої сироватки, виробленої із залученням електроіскрових розрядів

Можна визначити такі переваги запропонованої технології кислої сироватки-коагулянта для термокислотних сирів:

- суттєво скорочує виробничий цикл;
- підвищує коефіцієнт використання технологічного обладнання та ресурсів до нього;
- не потребує значних площ для запровадження інноваційного електрофізичного способу, а навпаки, приводить до зменшення потреб у ємностях внаслідок скорочення тривалості ферментації, а отже й зниження виробничих площ для них;
- забезпечує повніше використання білкового потенціалу молока і, як наслідок, зростанню виходу термокислотного сиру на 1,8...6,5 %.
- сприяє збагаченню молочно-білкових продуктів цінними мінеральними елементами, і як наслідок, підвищенню їх біологічної цінності.

7. Висновки

1. За результатами експериментальних лабораторних досліджень встановлено скорочення тривалості ферментації молочної сироватки, обробленої електроіскровими розрядами, майже у 2 рази за таких умов:

- оброблення молочної сироватки перед ферментацією електроіскровими розрядами у реакційній камері із струмопровідним прошарком гранул мангану протягом 60 с;
- оброблення молочної сироватки перед ферментацією в реакційній камері зі струмопровідним прошарком гранул магнію протягом 30 с та подальше оброблення в камері із струмопровідним прошарком гранул мангану протягом 30...60 с.

2. Встановлено, що використання молочної сироватки, виробленої із сировини збагаченої Магнієм і Манганом, в якості коагулянта в технології термокислотного сиру сприяє його збагаченню цінними мінеральними елементами. Білковий потенціал молока при цьому використовується дещо повніше, що сприяє зростанню виходу термокислотного сиру на 1,8...6,5 %.

Література

1. Farkye, N. Y. (2004). Acid- and acid/rennet-curd cheeses part C: Acid-heat coagulated cheeses. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 343–348. doi: [https://doi.org/10.1016/s1874-558x\(04\)80051-4](https://doi.org/10.1016/s1874-558x(04)80051-4)
2. Баль-Прилипко, Л. В., Савченко, О. (2012). Технологічна доцільність виготовлення м'яких сирних продуктів методом термокислотної коагуляції. *Продовольча індустрія АПК*, 6 (20), 12–15.
3. Поліщук, Г. Є., Грек, О. В., Скорченко, Т. А. та ін. (2013). Технологія молочних продуктів. К.: НУХТ, 502.
4. Калмикова, Г. Ф. (2014). Процес визрівання сиру "Осінній". *Продовольчі ресурси*, 2, 94–97.
5. Орлюк, Ю. Т., Калмикова, Г. Ф., Наріжний, С. А. (2013). Дослідження умов ферментації сирної маси у виробництві термокислотних сирів. *Продовольчі ресурси*, 1, 82–90.
6. Остроумов, Л. А., Смирнова, И. А., Захарова, Л. М. (2015). Особенности и перспективы производства мягких сыров. *Техника и технология пищевых производств*, 39 (4), 80–85. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-perspektivy-proizvodstva-myagkih-syrov>
7. Бычкова, М. В. (2009). Разработка технологии производства термокислотных сыров с различными коагулянтами. *Ползуновский альманах*, 2, 92–94.
8. Karki, A., Ojha, P. (2018). Quality Evaluation of Kiwi Juice Coagulated Mozzarella Cheese. *Journal of Food Science and Technology Nepal*, 10, 7–10. doi: <https://doi.org/10.3126/jfstn.v10i0.17920>
9. Беспоместных, К. В. (2014). Изучение влияния состава питательной среды на изменение биохимических и морфологических свойств штаммов лактобацилл. *Современные проблемы науки и образования*, 6. URL: <https://www.science-education.ru/pdf/2014/6/1327.pdf>
10. Храпцов, А. Г., Макеева, И. А., Смирнова, И. А. и др.; Позняковский, В. М. (Ред.) (2007). Экспертиза молока и молочных продуктов. Качество и безопасность. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 477.
11. Храпцов, А. Г. (2011). Феномен молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 804.
12. Walker, G. M. (1994). The Roles of Magnesium in Biotechnology. *Critical Reviews in Biotechnology*, 14 (4), 311–354. doi: <https://doi.org/10.3109/07388559409063643>
13. 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.
14. Pironcheva, G. L. (1998). The effect of magnesium ions during beer fermentation. *Cytobios*, 94 (377), 135–139.
15. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.053>

16. Спиричев, В. Б., Шатнюк, Л. Н., Позняковский, В. М.; Спиричев, В. Б. (Ред.) (2005). Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология. Новосибирск: Сиб. универ. изд-во, 548.
17. Нанотехнологии в биологии и медицине (2009). URL: <http://prostonauka.com/nano/soderzhanie>
18. Сердюк, А. М., Гуліч, М. П., Каплуненко, В. Г., Косімов, Н. В. (2010). Нанотехнології мікронутрієнтів: питання безпеки та біотичності наноматеріалів при виробництві харчових продуктів. Академія медичних наук України, 16 (3), 467–471.
19. Косінов, Н. В., Каплуненко, В. Г. (2007). Пат. № 29856 UA. Спосіб отримання аквахелатів нанометалів “ерозійно-вибухова нанотехнологія отримання аквахелатів нанометалів”. № u200711783; заявл. 25.10.2007; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 2.
20. Лопатько, К. Г., Олишевский, В. В., Маринин, А. И., Афтандилианц, Е. Г. (2013). Образование наноразмерной фракции металлов при электроискровой обработке гранул. Электронная обработка материалов, 49 (6), 80–85.
21. Ткаченко, С. В. (2015). Передумови використання препаратів з твердою фазою в нанорозмірному стані у якості каталізаторів процесів харчових виробництв. Продовольчі ресурси. Серія: Технічні науки, 4, 18–22.
22. Ukrainets, A., Kochubei-Lytvynenko, O., Bilyk, O., Zakharevych, V., Vasylchenko, T. (2016). A study of the effect of enriched whey powder on the quality of a special-purpose bread. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (11 (80)), 32–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65778>
23. Шуляк, Т. Л. (2006). Влияние физико-химических показателей молочной сыворотки на кислотообразующую активность молочнокислых бактерий. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 4, 32–33.
24. Смирнова, И. А. (2001). Исследование закономерностей формирования сыров с термокислотной коагуляцией. Кемерово: КемТИПП, 112.
25. Kochubei-Lytvynenko, O. (2018). The effect of electrical discharge treatment of milk whey on partial conversion of lactose into lactobionic acid. Food Science and Technology, 12 (3). doi: <https://doi.org/10.15673/fst.v12i3.1035>
26. Грегірчак, Н. М. (2009). Мікробіологія харчових виробництв. Лабораторний практикум. К.: НУХТ, 302.
27. Walker, G. M. (1998). Magnesium as a Stress-Protectant for Industrial Strains of *Saccharomyces Cerevisiae*. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 56 (3), 109–113. doi: <https://doi.org/10.1094/asbcj-56-0109>
28. 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. doi: <https://doi.org/10.1080/0957126032000114973>
29. Горбатова, К. К. (2001). Биохимия молока и молочных продуктов. СПб.: ГИОРД, 320.
30. Болога, М. К., Врабне, Е. Г., Степурина, Т. Г. (2013). Особенности минерализации белковых концентратов при электрофизической обработке молочной сыворотки. Электронная обработка материалов, 49 (6), 61–65.