

УДК 637.146:663.05:664.014

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.22>

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВИРОБНИЦТВА ДОБАВКИ МОЛОЧНО-РОСЛИННОЇ

Веретенніков Сергій Васильович*Аспірант кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи*<https://orcid.org/0009-0003-1304-9903>*Державний біотехнологічний університет**61002, вул. Алчевських, 44, Харків, Україна*

Анотація. Раціональне та повне використання вторинної молочної сировини є одним із актуальних напрямів розвитку сучасної харчової науки. Особливу цікавість викликає застосування ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як основи для створення нової функціональної добавки, що поєднує харчову цінність молочної та рослинної сировини. У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування технології отримання добавки молочно-рослинної із використанням рослинної сировини, багатої на біологічно активні речовини – листя якона.

Метою роботи було наукове обґрунтування раціональних технологічних режимів виробництва добавки молочно-рослинної на основі ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного та листя якона, а також встановлення закономірностей і раціональних технологічних параметрів екстрагування. Для досягнення поставленої мети використано загальноприйняті методи дослідження органолептичних, фізико-хімічних і функціонально-технологічних характеристик харчових систем; методи визначення вмісту сухих речовин, кислотності, густини та в'язкості; методи математичного моделювання та статистичної обробки експериментальних даних.

У результаті проведених досліджень встановлено раціональні параметри екстрагування біологічно активних речовин листя на ультрафільтраті сироватки з-під сиру кисломолочного: гідромодуль 1:10, активна кислотність екстракційного середовища 4,4...4,5, температура 45 ± 2 °C та тривалість екстрагування 45...50 хв. Наведені параметри дають змогу вилучити сухі речовини на рівні 1,6 г сухої речовини на 100 г екстракту. Реалізація способу виробництва молочно-рослинної добавки може бути здійснена за умов традиційних технологій із коригуванням на розроблені режими. Отримана добавка характеризується прозорою консистенцією, світло-буриновим кольором, приємним кисло-солодким смаком із характерним кавово-молочним присмаком і слабо вираженою терпкістю. Доведено, що використання ультрафільтрату сироватки як екстрагента забезпечує ефективне вилучення біологічно активних речовин із рослинної сировини без застосування складних технологічних операцій.

Практична цінність роботи полягає в розробленні технології нової молочно-рослинної добавки, яка може бути використана як багатофункціональний компонент у технологіях харчових продуктів, сприяючи комплексній переробці вторинної молочної сировини, підвищенню ресурсоефективності виробництва та розширенню переліку харчових продуктів.

Ключові слова: ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного, листя якона, екстрагування, технологія, молочно-рослинна добавка.

UDC 637.146:663.05:664.014

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.22>

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF RATIONAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE PRODUCTION OF A MILK-PLANT ADDITIVE

Serhii Veretennikov

PhD Student of the Department of Trade, Hotel, Restaurant and Customs

<https://orcid.org/0009-0003-1304-9903>

State Biotechnology University

61002, St. 44, Alchevsky, Kharkiv, Ukraine

Abstract. The rational and comprehensive utilization of dairy by-products is a current priority in modern food science. Particular interest is focused on using cottage cheese whey ultrafiltrate as a basis for developing a novel functional ingredient that combines the nutritional value of both dairy and plant raw materials. In this regard, the scientific substantiation of the technology for producing a dairy-plant additive from yacon leaves, a plant material rich in bioactive compounds, is of considerable relevance.

This study aimed to scientifically substantiate the rational technological parameters for producing a dairy-plant additive based on cottage cheese whey ultrafiltrate and yacon leaves, and to establish the patterns and optimal conditions of the extraction process. To achieve this objective, conventional methods for evaluating the sensory, physicochemical, and functional-technological characteristics of food systems were applied. Methods for determining dry matter content, acidity, density, and viscosity, as well as mathematical modeling and statistical analysis of experimental data, were also employed.

The study established the optimal parameters for extracting biologically active substances from yacon leaves using cottage cheese whey ultrafiltrate: a hydromodule of 1:10, an extraction medium pH of 4.4–4.5, a temperature of 45 ± 2 °C, and an extraction time of 45–50 min. These conditions enabled the extraction of dry matter at 1.6 g per 100 g of extract. The proposed production method for the dairy-plant additive can be implemented using conventional processing technologies, with adjustments to suit the developed operating conditions. A transparent appearance, a light amber color, a pleasant sweet-and-sour taste, a distinctive coffee-milky aftertaste, and slight astringency characterized the resulting additive. It was demonstrated that using whey ultrafiltrate as an extractant ensures efficient recovery of biologically active compounds from plant material without requiring complex technological operations.

The practical significance of the work lies in the development of a novel dairy-plant additive that can serve as a multifunctional ingredient in food technology, contributing to the comprehensive utilization of secondary dairy raw materials, improved resource efficiency, and the expansion of the range of food products.

Keywords: whey ultrafiltrate, yacon leaves, extraction, technology, dairy-plant additive.

ВСТУП. Сьогодні поряд з інтенсивним розвитком науки та технологій відбуваються негативні тенденції, а саме: погіршення стану навколишнього середовища, пришвидшення темпу життя людини та зростання психоемоційних навантажень. За таких умов раціональне, збалансоване харчування відіграє ключову роль у підтриманні здоров'я людини, адаптації організму та профілактиці захворювань (Shahidi & Yeo, 2018). Разом із цим спостерігається скорочення споживання натуральних харчових продуктів і недостатня харчова цінність окремих видів промислово виготовленої продукції, що зумовлює дефіцит у раціоні вітамінів, мінеральних речовин та інших біологічно активних компонентів, необхідних для нормального функціонування організму.

Одним із актуальних напрямів розвитку сучасної харчової науки є створення новітніх інгредієнтів функціонального призначення, що мають високу харчову та біологічну цінність і водночас виробляються з використанням ресурсозберігаючих технологічних прийомів (Albuquerque et al., 2021; Tsakali et al., 2023). Особливої перспективи набувають дослідження, спрямовані на використання вторинної сировини харчових виробництв і залучення рослинних компонентів, багатих на поживні речовини.

У зв'язку з цим набуває дедалі більшої актуальності пошук і наукове обґрунтування технологій раціонального використання вторинної сировини молочної промисловості, а саме молочної сироватки та продуктів її переробки (Ryan & Walsh, 2016; Tsakali et al., 2023). На постійній основі під час виробництва кисломолочного сиру та казеїну отримують великі об'єми сироватки, багаті за своїм хімічним складом: вона містить 50–70 % сухих речовин молока, лактозу, мінеральні речовини, органічні кислоти, водорозчинні вітаміни тощо (Ryan & Walsh, 2016). При цьому, незважаючи на цінний склад, значна кількість молочної сироватки використовується неефективно.

Таким чином, наукове обґрунтування та розробка технології добавок на основі продуктів переробки молочної сироватки з одночасним залученням рослинних компонентів є об'єктивно необхідними та своєчасними.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ. Метою роботи є наукове обґрунтування раціональних технологічних режимів виробництва добавки молочно-рослинної на основі ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного та листя якона (*Smallanthus sonchifolius*), у тому числі встановлення оптимальних параметрів процесу екстрагування, що забезпечують одержання продукту зі стабільними органолептичними та фізико-хімічними властивостями.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Важливим напрямом розвитку сучасних харчових технологій є розробка харчових систем, що поєднують високу харчову цінність вторинної молочної сировини з оздоровчими характеристиками рослинних компонентів (Buchanan et al., 2023). Особлива роль наразі приділяється використанню молочної сироватки. Водночас рослинна сировина є джерелом біологічно активних сполук, харчових волокон, вітамінів та антиоксидантів (Shahidi & Yeo, 2018; Albuquerque et al., 2021). Це значною мірою дає змогу покращити споживні властивості продукції.

Огляд літератури та наукових публікацій показує, що найчастіше молочна сироватка є основою для виробництва напоїв функціонального призначення (Buchanan et al., 2023). Відповідно до відомих технологій до складу молочної сироватки вводять фруктові соки, ягідні концентрати, прянощі та продукти переробки лікарських рослин. Такі прийоми поєднання молочної сироватки з рослинними складовими дозволяють покращити органолептичні характеристики напоїв, підвищити їхню здатність до стабільного зберігання та збагатити біологічно активними компонентами.

Багато досліджень спрямовані на отримання ферментованих молочних продуктів із використанням рослинної сировини (Nkhata et al., 2018). У відомих розробках рослинні компоненти використовують як джерело вітамінів, антиоксидантів, мінеральних сполук. Авторами зазначається, що використання рослинних компонентів позитивно впливає на життєздатність молочнокислих бактерій, сприяє формуванню приємного післясмаку та підвищує біологічну цінність готової продукції. Зокрема, одним із популярних напрямів є технології ферментованих молочних напоїв із додаванням фруктових і ягідних наповнювачів. Результати опублікованих робіт свідчать, що використання пюре чорниці, журавлини, обліпихи, чорної смородини та полуниці сприяє підвищенню антиоксидантної активності продукту, збільшенню вмісту фенольних сполук, покращенню органолептики (Shahidi & Yeo, 2018; Albuquerque et al., 2021). Рослинні інгредієнти сприяють стабільності ферментованих систем і підвищують їхню функціональну спрямованість.

Відомими є технології десертних молочних продуктів, у складі яких використовують рослинні компоненти. Як натуральні інгредієнти рослинного походження застосовують гарбузове, морквяне, бурякове та ягідне пюре, порошки фруктів і овочів, а також екстракти лікарських рослин (Albuquerque et al., 2021). Такі розробки сприяють підвищенню вмісту харчових волокон, каротиноїдів, фенольних і мінеральних речовин, поліпшуючи кольорові та смакові характеристики готової продукції.

На сьогодні особливий науковий інтерес викликають продукти переробки молочної сироватки, зокрема ультрафільтрат сироватки з-під кисломолочного сиру, який наразі дуже обмежено використовується в харчових технологіях (Ryan & Walsh, 2016; Kolesnyk et al., 2025). Ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного характеризується високим вмістом вуглеводів — лактози та мінеральних речовин, а також низькою густиною. Такі властивості створюють передумови для використання ультрафільтрату як екстрагента біологічно активних речовин із рослинної сировини.

Разом із цим, актуальним збагачувальним компонентом рослинного походження є якон (*Smallanthus sonchifolius*), листя якого містить фруктани, інулін, фенольні сполуки, органічні кислоти та мінеральні речовини (Chessum et al., 2023; Gudz, 2018; Sharma et al., 2024). Відомі наукові дослідження зосереджені виключно на використанні бульб якона як джерела фруктоолігосахаридів та інуліну (Campos et al., 2018; Gibson et al., 2017). Але не менш цінною з технологічної та функціональної точки зору є листя якона. Листя, яке містить значну кількість хлорогенової, кавової та розмаринової кислот, рутину, ізокверцитрину та інших фенольних сполук. На відміну від традиційних рослинних джерел біологічно активних речовин, таких як плоди ягідних культур, зелений чай, лікарські трави (ромашка, м'ята, меліса) або прянощі, листя яких характеризується поєднанням високого вмісту фенольних сполук із незначною кількістю простих цукрів та органічних кислот. Це є важливою технологічною перевагою під час створення молочно-рослинних систем, оскільки не спричиняє істотного підвищення вмісту сухих речовин за рахунок легкозброджуваних вуглеводів, не потребує додаткового коригування рецептури та забезпечує стабільні органолептичні властивості продукту. Крім того, використання саме листя якона, а не бульб, відповідає сучасним принципам комплексної переробки рослинної сировини та безвідходних технологій, оскільки листя є малозатребуваною побічною продукцією під час вирощування цієї культури. Високий вміст хлорогенової, кавової та розмаринової кислот, флавоноїдів і антиоксидантів у поєднанні з доступністю сировини та можливістю її сушіння без суттєвих втрат біологічно активних компонентів визначає технологічну доцільність використання листя якона як рослинної складової добавки до молочно-рослинної.

Таким чином, порівняно з іншими традиційними рослинними інгредієнтами, листя якона характеризується сукупністю технологічних переваг, а саме високою концентрацією фенольних антиоксидантів, низьким вмістом простих цукрів, стабільністю під час сушіння, доступністю як побічної рослинної сировини та відповідністю концепції ресурсозберігаючих і безвідходних технологій, що обґрунтовує його вибір для виробництва молочно-рослинної добавки. (Yuan et al., 2022; Simon et al., 2024; Gudz, 2018).

Аналіз літератури доводить, що наявні технології екстрагування зосереджені на використанні води або водно-спиртових розчинів як екстрагентів для вилучення поживних речовин із рослинної сировини (Nielsen, 2017; Istasse et al., 2016). Практично відсутні дані щодо використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як екстрагента поживних речовин, зокрема листя якона (Kolesnyk et al., 2025).

Отже, створення добавки молочно-рослинної (ДМР) шляхом екстрагування листя ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного є об'єктивно необхідним і актуальним напрямом повноцінної переробки молочної сироватки та рослинних ресурсів (Kolesnyk et al., 2025).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Матеріалами досліджень були ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного, листя якона та зразки добавки молочно-рослинної, отриманої шляхом екстракції підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного.

Сировину – листя якона – надано Навчально-науково-виробничим центром «Дослідне поле «Докучаєвське». Рослинна сировина мала списоподібну форму, зелене стебло з антоціановими плямами у верхній частині. Листки великі (довжина пластинки до 32 см, ширина до 22 см), з нерівномірно зубчастими краями; з верхнього боку темно-зелені, з нижнього – світліші. Запах слабкий – можна порівняти з запахом молодого насіння соняшника. Смак гіркувато-солодкий (Kolesnyk et al., 2025).

Дослідження хімічного складу ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного: сухі речовини визначали гравіметричним методом, що полягає у висушуванні зразка при температурі 95–100°C до постійної маси; білок – методом К'ельдаля (ДСТУ ISO 8968-1:2003); вуглеводи – перманганатним методом (за Бертраном) (ДСТУ 5059:2008); зола – гравіметричним методом (ДСТУ ISO 5984-2004) після спалювання проби у муфельній печі при 500–600°C.

Сухі речовини під час екстрагування визначали гравіметричним методом, що полягає у висушуванні зразка за температури 95–100 °C до постійної маси.

Визначення органолептичних показників ДМР здійснювали згідно з ДСТУ ISO 6658:2005.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Результати аналізу та узагальнення даних, представлених в аналітичному огляді літературних джерел, свідчать, що одним із найбільш перспективних напрямів сучасних досліджень у галузі харчових технологій є науково обґрунтоване поєднання сировини тваринного та рослинного походження. Реалізація такого підходу забезпечує можливість формування харчових продуктів зі збалансованим хімічним складом, оптимальним співвідношенням нутрієнтів, а також підвищеною біологічною та фізіологічною цінністю.

Проведений аналіз сучасного стану виробництва та напрямів використання сироватки з-під кисломолочного сиру дозволяє зробити висновок про наявність суттєвого науково-практичного потенціалу її подальшої переробки як альтернативного джерела повноцінної тваринної сировини з метою раціонального використання у харчових технологіях. Водночас наявні технологічні рішення не забезпечують повною мірою комплексного використання побічних продуктів молочної промисловості.

У зв'язку з цим доцільним є використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, а також введення до складу продуктів додаткових інгредієнтів із вираженими, стабільними та прогнозованими показниками якості, що дозволяє коригувати органолептичні характеристики, підвищувати харчову та біологічну цінність продуктів і розширювати асортимент (Kolesnyk et al., 2025).

Ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного відзначається вищими показниками біологічної цінності та колоїдної стабільності порівняно з нативною сироваткою, що зумовлює зручність і прогнозованість результатів його використання у складі харчових систем. Перспективним напрямом модифікації фізико-хімічних та функціонально-технологічних властивостей сироватки з-під сиру кисломолочного є застосування рослинної сировини, зокрема листової частини рослини якона (*Smallanthus sonchifolius*), що належить до родини айстрові (*Asteraceae*).

Використання ультрафільтрату сироватки як екстрагенту забезпечить можливість поєднання біологічно цінних компонентів сироватки з-під сиру кисломолочного, яка раніше довела свою ефективність як основа лікувально-профілактичних харчових продуктів, зокрема напоїв, із дефіцитними нутрієнтами, що містяться у листі якона, з метою отримання продуктів із підвищеною харчовою цінністю.

Виходячи з цього, досліджено органолептичні, фізико-хімічні властивості та хімічний склад ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, який використовувався як екстрагент для речовин листя якона.

За органолептичними показниками ультрафільтрат сироватки є однорідною прозорою рідиною з жовтуватим відтінком.

Фізико-хімічні показники ультрафільтрату:

- титрована кислотність 75...85 °Т;
- активна кислотність $\text{pH}=4,4\ldots4,5$;
- густина 1017...1018 кг/м³.

Хімічний склад ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного наведено в табл.

1.

Таблиця 1. Хімічний склад ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного ($p \geq 0,95$, $n=5$)

Показник	Вміст, %
Вода	$94,8 \pm 1,0$
Сухі речовини, усього	$5,4 \pm 0,1$
Лактоза	$4,0 \pm 0,1$
Молочна кислота	$0,7 \pm 0,03$
Білки, усього (за К'ельдалем)	$0,16 \pm 0,01$
Ліпіди	0,04 (Сл.)
Мінеральні речовини (зола)	$0,5 \pm 0,03$

Джерело: розроблено автором.

Виходячи з хімічного складу ультрафільтрату, можна передбачити роль його основних компонентів у забезпеченні екстрагування. Вода є основним носієм екстракції, забезпечує масоперенесення екстрактивних речовин, сприяє набухання клітинних стінок листя та полегшує дифузію речовин.

Молочна кислота ($0,7 \pm 0,03\%$) формує слабокисле середовище та може підвищувати проникність клітинних мембран рослинної тканини.

Можна прогнозувати ефективність процесу екстрагування при використанні ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, що пояснюється зростанням іонної сили екстракційного середовища, сформованого завдяки високій концентрації низькомолекулярних вуглеводів і мінеральних іонів. Підвищена іонна сила сприяє зменшенню товщини дифузійного шару на межі «рослинна сировина – екстрагент», що, відповідно до положень теорії масопереносу, забезпечує прискорення дифузії цільових компонентів у рідкій фазі.

ДМР одержували методом екстрагування попередньо підготовленої листової сировини ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного. Підготовка рослинної сировини (листя якона) включала стадії миття, сушіння до масової частки вологи у межах 8–10% та подрібнення до дисперсності 1–2 мм. Конвективне сушіння до масової частки вологи 8–10% забезпечує стабільність рослинної сировини під час зберігання, краще збереження біоактивних сполук та оптимальні умови для подальшого екстрагування харчових компонентів ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного.

Ефективність екстракційного процесу визначається сукупністю технологічних чинників, зокрема ступенем подрібнення екстрагованого матеріалу, величиною гідромодуля, значенням рН екстрагента, температурним режимом і тривалістю екстрагування.

Обраний ступінь подрібнення сухого листя якона (1...2 мм) забезпечує збільшення питомої поверхні контакту фаз та інтенсифікацію масопереносу цільових компонентів у рідку фазу. Зменшення розміру часток нижче зазначеного діапазону призводить до

ущільнення шару рослинної сировини та агрегації часток, що ускладнює проникнення екстрагента і, як наслідок, знижує ефективність процесу екстрагування.

Для вивчення взаємодії основних факторів, що впливають на процес екстрагування харчових компонентів із листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного, крім експериментальних робіт, застосовано методи математичного моделювання із використанням програмного пакета MathCad. Адекватність розроблених математичних моделей підтверджено статистичною обробкою експериментальних даних. Для всіх моделей коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,96\text{--}0,99$, що свідчить про високий ступінь відповідності між експериментальними та розрахунковими даними. Середня відносна похибка апроксимації не перевищувала 5%, а перевірка за критерієм Фішера засвідчила статистичну значущість моделей за рівня довірчої ймовірності 95%.

Ефективність переходу макро- та мікронутрієнтів з рослинної сировини в молочне середовище оцінювали за масовою часткою сухих речовин в екстракті. Результат дослідження маси вилучених сухих речовин залежно від гідромодуля, рН екстрагента та температури екстракції, що покладені в основу матриці планування експерименту, наведено в табл. 2. Вибір інтервалів зміни факторів обумовлений особливостями процесу екстрагування харчових компонентів із листя яблука ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного.

Залежність ефективності екстракції від гідромодуля та тривалості екстракції (за сталих $t = 20\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$ та рН екстрагента = 4,4...4,5) можна описати рівнянням 1. Математичну модель цього процесу наведено на рис. 1.

$$y_1 = -0,468 + 0,122x_1 + 0,026x_2 + (-6,771 \times 10^{-3})x_1^2 + (-2,984 \times 10^{-4})x_2^2 + (1,238 \times 10^{-3})x_1x_2 \quad (1)$$

де, y_1 – маса вилучених сухих речовин, г/100 г екстракту;

x_1 – гідромодуль, частин екстрагента до 1 частини підготовленого листя якона;

x_2 – тривалість екстракції, $\tau \times 60$, с

Таблиця 2. Результат дослідження маси вилучених сухих речовин залежно від гідромодуля, рН екстрагента, температури екстракції, що покладені в основу матриці планування експерименту ($p \geq 0,95$, $n=5$)

Тривалість екстракції $\tau \times 60$, с	Дослідження гідромодуля (ГМ)		Тривалість екстракції $\tau \times 60$, с	Дослідження рН екстрагента		Тривалість екстракції $\tau \times 60$, с	Дослідження температури екстракції	
	ГМ, частин екстр-та до 1 ч. підгот. листя якона	$m_{\text{вилуч. сух. реч. г/100 г екстракту}}$		рН екстр-та	$m_{\text{вилуч. сух. реч. г/100 г екстракту}}$		t екстр., $^{\circ}\text{C}$	$m_{\text{вилуч. сух. реч. г/100 г екстракту}}$
0	4	0	0	4	0	0	20	0
70	4	0,62	70	4	1,35	70	20	1,3
0	12	0	0	5,6	0	0	60	0
70	12	1,33	70	5,6	0,5	70	60	1,64
0	8	0	0	4,8	0	0	40	0
70	8	1,2	70	4,8	1,07	70	40	1,57
30	4	0,48	30	4	1,1	30	20	1,05
30	12	1,07	30	5,6	0,38	30	60	1,48
30	8	0,87	30	4,8	0,83	30	40	1,33

Джерело: розроблено автором.

Отримані експериментальні результати щодо ефективності екстрагування попередньо підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від гідромодуля та тривалості екстракції (при сталих $t=20\ldots 22^{\circ}\text{C}$ та $\text{pH}_{\text{екстрагента}}=4,4\ldots 4,5$) гарно корелюють із діапазоном оптимальних значень у математичній моделі процесу і наведені на рис 2.

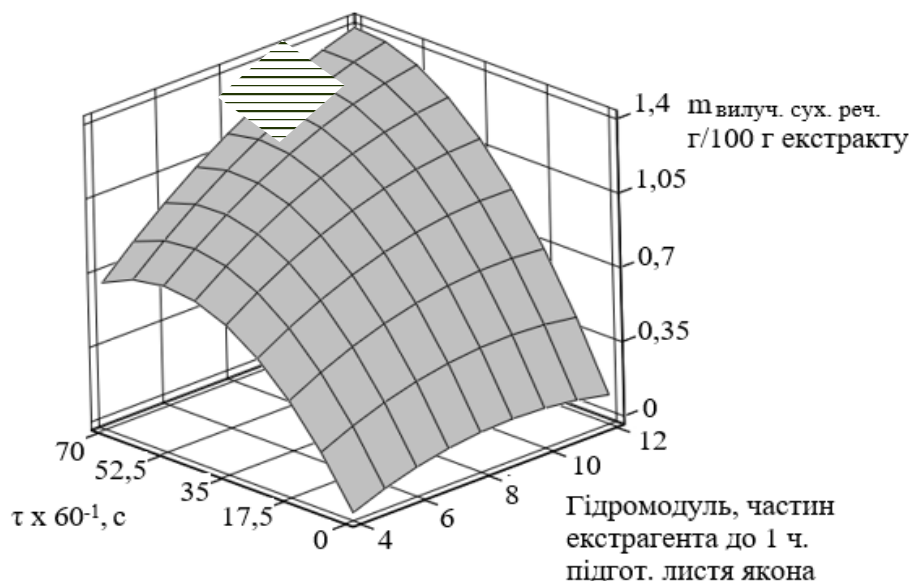


Рисунок 1. Математична модель екстрагування попередньо підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від гідромодуля та тривалості екстракції (при сталих $t=20\ldots 22^{\circ}\text{C}$ та $\text{pH}_{\text{екстрагента}}=4,4\ldots 4,5$)

Джерело: розроблено автором.

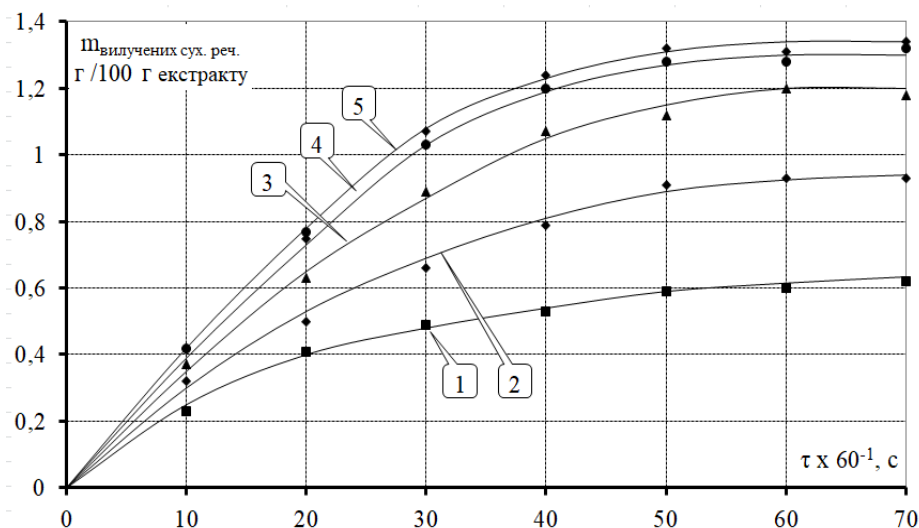


Рисунок 2. Динаміка екстрагування попередньо підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від гідромодуля та тривалості екстракції (при сталих $t=20\ldots 22^{\circ}\text{C}$ та $\text{pH}_{\text{екстрагента}}=4,4\ldots 4,5$): 1 – ГМ=1:4; 2 – ГМ=1:6; 3 – ГМ=1:8; 4 – ГМ=1:10; 5 – ГМ=1:12

Джерело: розроблено автором.

Із даних рис. 2 видно, що збільшення гідромодуля підвищує інтенсивність екстрагування біологічно активних речовин рослинної сировини у молочному середовищі. Оптимальним є гідромодуль сировина : екстрагент = 1 : 10, при цьому забезпечується вилучення сухих речовин листа якона у кількості 1,3 г/100 г екстракту протягом $(50\ldots 60) \times 60$

с. Під час подальшого збільшення кількості ультрафільтрату молочної сироватки, підвищення маси вилучених сухих речовин відбувається у межах похибки. Збільшення тривалості процесу екстракції понад 60×60 с є нераціональним через низьку продуктивність, спричиняє збільшення енергетичних витрат та зниження загальної ефективності процесу, що негативно впливає на економічну доцільність використання даного технологічного режиму.

Також, нами проведено комплекс досліджень щодо ефективності екстрагування підготовленої рослинної сировини якона залежно від рН екстрагента. Математична модель даного процесу описана рівнянням 2 та наведена на рис. 3, експериментальні результати – на рис. 4.

$$y_2 = -2,364 + 1,091x_1 + 0,069x_2 + (-0,122)x_1^2 + (-2,94 \times 10^{-4})x_2^2 + (-7,289 \times 10^{-3})x_1x_2 \quad (2)$$

де, y_2 – маса вилучених сухих речовин, г/100 г екстракту;

x_1 – рН екстрагента;

x_2 – тривалість екстракції, $\tau \times 60$, с

Математичне моделювання (рис. 3) та експериментальні дані (рис. 4) показують, що оптимальним для екстрагування харчових компонентів із підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного є рН екстрагента на рівні 4,4...4,5, при цьому забезпечується вилучення сухих речовин листа якона у кількості 1,3 г/100 г екстракту протягом (50...60)×60 с. При рН < 4 ступінь екстрагування зростає менш інтенсивно (до 1,4...1,42 г/100 г екстракту). Незважаючи на подальше, хоча і повільніше, вилучення речовин листа якона у більш кислому середовищі, оптимальним для отримання добавки молочно-рослинної з нейтральними органолептичними характеристиками залишається рН екстрагента на рівні 4,4...4,5, бо активна кислотність ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного складає саме 4,4...4,5, що виключає необхідність регулювати параметр додаванням розчинів гідрокарбонату натрію або лимонної кислоти.

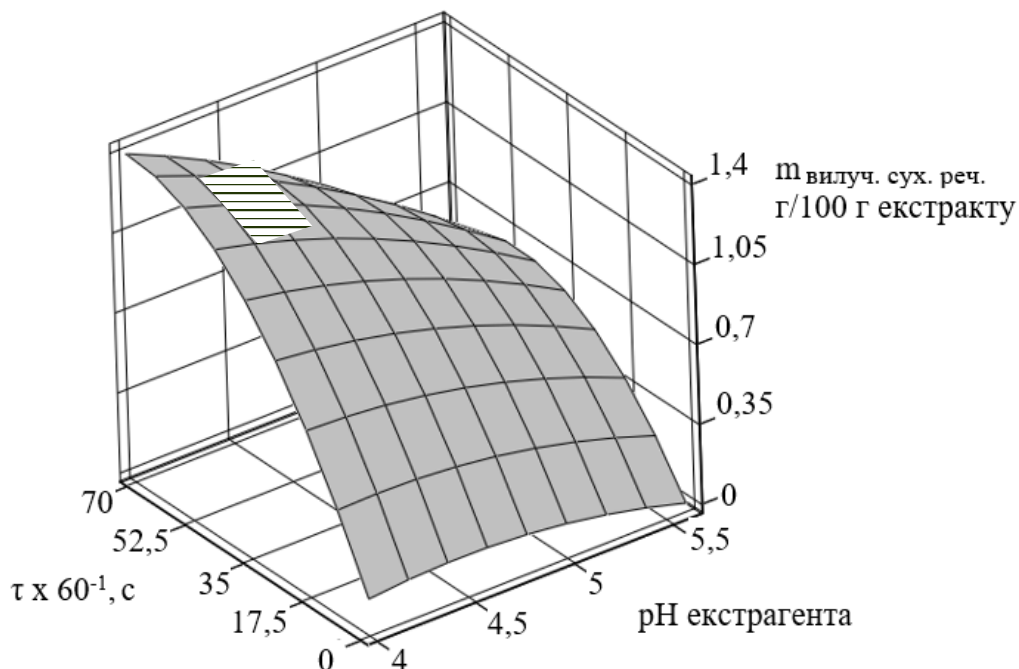


Рисунок 3. Математична модель екстрагування попередньо підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від рН екстрагента та тривалості екстракції (при сталих $t=20...22^{\circ}\text{C}$ та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10)

Джерело: розроблено автором.

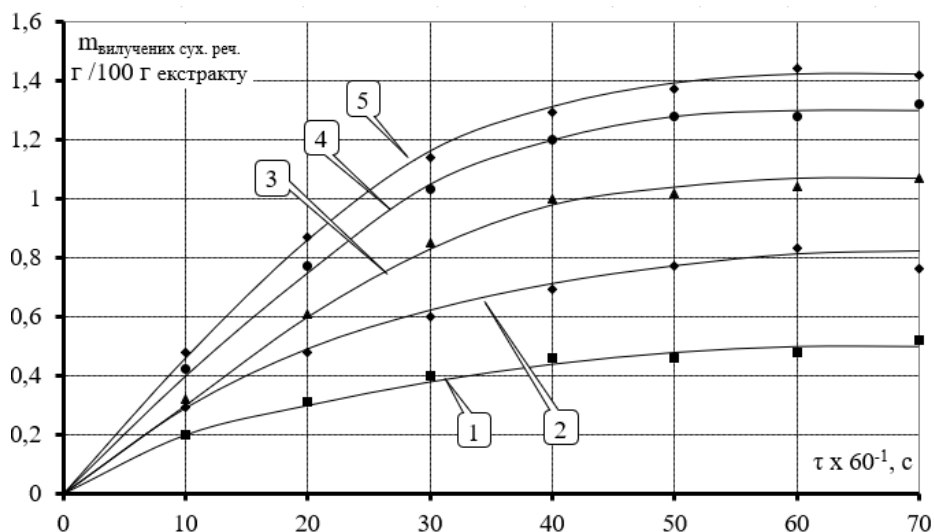


Рисунок 4. Динаміка екстрагування попередньо підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від рН екстрагента та тривалості екстракції (при сталих $t=20...22^{\circ}\text{C}$ та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10): 1 – рН=5,6; 2 – рН=5,2; 3 – рН=4,8; 4 – рН=4,4; 5 – рН=4,0

Джерело: розроблено автором.

Разом із цим, доцільним є дослідження впливу температури на ефективність екстракції підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного (при сталих рН екстрагента = 4,4...4,5 та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10). Математична модель цього процесу може бути описана рівнянням 3.3 та наведена на рис. 5, експериментальні дані наведено на рис. 6.

$$y_3 = -0,291 + 0,014x_1 + 0,054x_2 + (-1,375 \times 10^{-4})x_1^2 + (-5,353 \times 10^{-4})x_2^2 + (1,118 \times 10^{-4})x_1x_2 \quad (3)$$

де, y_3 – маса вилучених сухих речовин, г/100 г екстракту;

x_1 – температура екстракції, $^{\circ}\text{C}$;

x_2 – тривалість екстракції, $\tau \times 60$, с

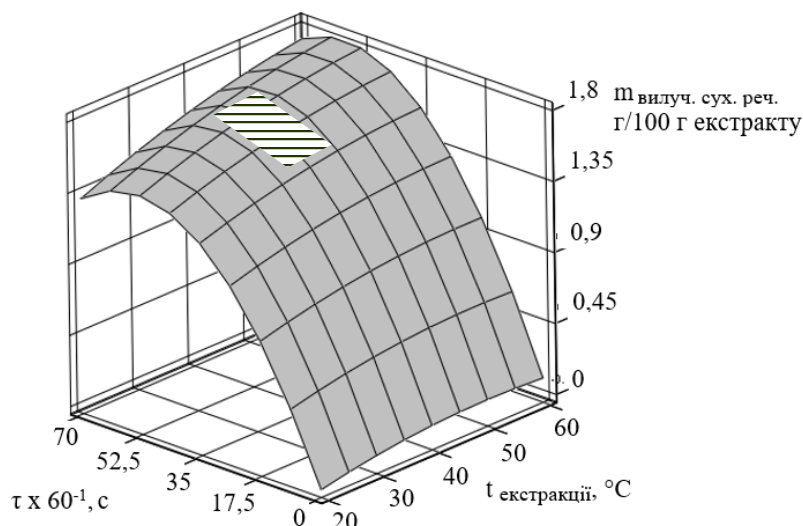


Рисунок 5. Математична модель екстрагування попередньо підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від температури екстрагування та тривалості екстракції (при сталих рН екстрагента = 4,4...4,5 та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10)

Джерело: розроблено автором.

З рис. 5 та 6 видно, що з підвищенням температури збільшується кінетична енергія молекул речовин, що екстрагуються, вони рухаються з великими швидкостями, зростає інтенсивність дифузійного процесу. При виборі режимів теплового впливу враховували, що температура екстрагування не повинна перевищувати поріг денатураційних змін білків та призводити до руйнування вітамінів та органічних речовин.

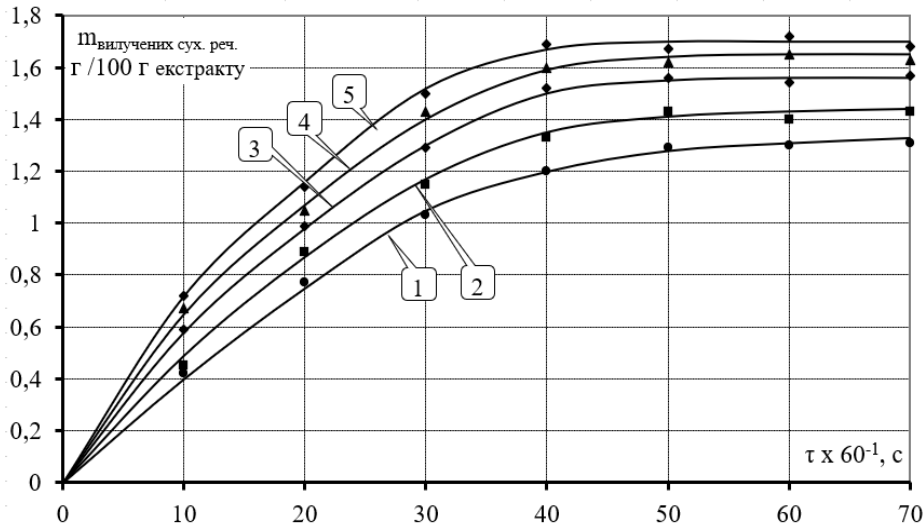


Рисунок 6. Динаміка екстрагування попередньо підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від температури та тривалості екстракції (при сталих рН екстрагента = 4,4...4,5 та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10): 1 – $t=20^{\circ}\text{C}$; 2 – $t=30^{\circ}\text{C}$; 3 – $t=40^{\circ}\text{C}$; 4 – $t=50^{\circ}\text{C}$; 5 – $t=60^{\circ}\text{C}$

Джерело: розроблено автором.

В інтервалі температур ($20\ldots60^{\circ}\text{C}$) ступінь вилучення фізіологічно цінних нутрієнтів якона лінійно залежить від температури, проте підтримувати температуру на рівні 60°C недоцільно внаслідок термолабільності компонентів молочної та рослинної сировини. Встановлено, що оптимальною температурою екстрагування є $45\pm2^{\circ}\text{C}$, що виключає руйнування вітамінів та органічних речовин, при цьому масова частка сухих речовин в екстракті складає $1,6\text{ г}/100\text{ г}$ екстракту. Порівняльний аналіз раціональних параметрів процесу екстрагування показав, що збільшення тривалості термостатування (τ) від $10\times60\text{ с}$ до $70\times60\text{ с}$ приводить до зростання повноти екстрагування цільових компонентів. Це пояснюється інтенсифікацією масообмінних процесів і збільшенням часу контакту екстрагенту з сировиною. Водночас встановлено, що при $\tau = (45\ldots50)\times60\text{ с}$ спостерігається наближення системи до рівноважного стану і масова частка сухих речовин в екстракті при цьому складає $1,6\text{ г}/100\text{ г}$ екстракту. Подальше збільшення тривалості екстракції не забезпечує істотного зростання вмісту сухих речовин, оскільки швидкість переходу екстрактивних компонентів у розчин суттєво знижується, що робить подальше проведення процесу малоефективним з технологічної та енергетичної точок зору.

Таким чином, експериментально підтвердженими раціональними параметрами екстрагування харчових компонентів підготовленого листа якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного (отримання добавки молочно-рослинної (ДМР)) є: співвідношення обсягів твердої та рідкої фаз (гідромодуль) 1:10; рН екстрагента 4,4...4,5, за температури екстракції $45\pm2^{\circ}\text{C}$ протягом $\tau = (45\ldots50)\times60\text{ с}$. Це дає можливість вилучити сухі речовини на рівні $1,6\text{ г с.р.}/100\text{ г}$ екстракту.

Для отримання ДМР екстрагування здійснювали на віброзмішувачі з дотриманням раціональних параметрів процесу. Екстракт відокремлювали від жому центрифугуванням при частоті обертання 4000 об/хв протягом $(10\ldots15)\times60\text{ с}$. Проводили очищення екстракту шляхом мембранної фільтрації (полімерні мікрофільтраційні мембрани, розмір пор $0,45\text{ мкм}$,

тиск 0,1...0,3 МПа), після чого пастеризували за температури 60...70 °С протягом 10...20 с, далі охолоджували до 2...6 °С, що забезпечувало мікробіологічну стабільність продукту та створювало умови для його подальшого використання у технологіях продуктів харчування.

За необхідності тривалого зберігання ДМР, підвищення концентрації біологічно активних речовин, зменшення об'єму при транспортуванні може застосовуватися етап технологічного процесу – вакуумне концентрування ДМР до 10...15% сухих речовин (вакуум-випарний апарат, $t = 45...55$ °С; $P = 10...20$ кПа; $\tau = 30...90$ хв (залежно від об'єму та вмісту сухих речовин). Вакуумне концентрування є раціональним з міркувань забезпечення зниження температури кипіння води та мінімізації втрат термолабільних біологічно активних речовин, зокрема фенольних сполук і фруктанів, низьких енерговитрат.

У разі використання ДМР, як функціональної добавки у складі напоїв, вакуумне концентрування не проводиться, тому більш технологічно та економічно вигідно використовувати саме рідку ДМР.

Реалізація способу виробництва ДМР може бути здійснена за умов традиційних технологій з корекцією на розроблені режими. Запропоновані технологічні режими отримання ДМР мають універсальний характер, оскільки визначаються не конструкцією обладнання, а фізико-хімічними умовами перебігу процесу екстрагування. Під час переходу від лабораторного до промислового масштабу зберігаються основні керовані параметри процесу (гідромодуль, температура, активна кислотність та тривалість екстрагування), що дозволяє адаптувати технологію до різних типів екстракційного обладнання. При цьому під час промислового впровадження можуть потребувати уточнення параметри перемішування, теплообміну та тривалості виходу системи на робочий режим, що не змінює встановлених раціональних значень основних технологічних факторів.

Рецептуру ДМР наведено в табл. 3. Технологічну схему ДМР зображено на рис. 7.

Таблиця 3. Рецепт ДМР

Найменування сировини	Витрата сировини на 100 кг, кг	
	брутто	нетто
Листя якона (вологість 78...80%)	45	45
Підготовлене листя якона (вологість 8...10%)	10,0	10,0
Ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного	100,0	100,0
Разом (стадія екстрагування)	—	110,0
ДМР	—	100,0

Джерело: розроблено автором.

Відповідно до табл. 3, маса добавки молочно-рослинної відповідає масі використаного ультрафільтрату, а зростання вмісту сухих речовин зумовлено перерозподілом компонентів між твердою та рідкою фазами.

Водночас практична реалізація запропонованої технології потребує врахування окремих технологічних факторів, які можуть впливати на стабільність процесу в промислових умовах. До таких факторів належать мікробіологічний стан ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, можливі зміни його фізико-хімічних властивостей під час зберігання, а також природна сезонна варіабельність складу молочної та рослинної сировини. Оскільки ультрафільтрат містить лактозу, мінеральні речовини та залишкові азотисті сполуки, дотримання належних санітарно-гігієнічних умов, своєчасне проведення

пастеризації та контроль термінів зберігання є необхідними умовами забезпечення стабільної якості готової добавки. Разом із цим, встановлені раціональні параметри екстрагування визначаються фізико-хімічними характеристиками екстракційного середовища і можуть бути відтворені за умови стандартизації вихідної сировини.

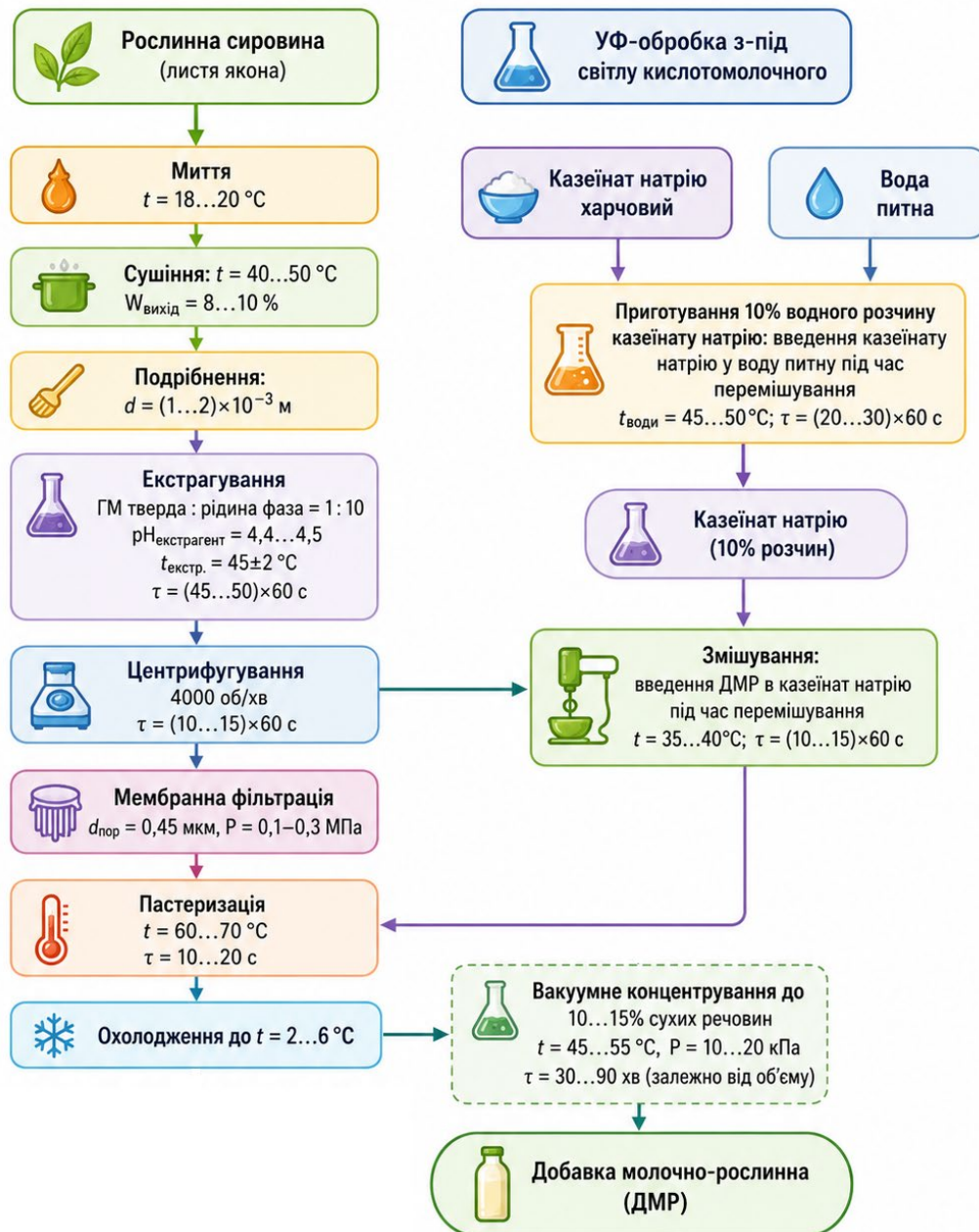


Рисунок 7. Технологічна схема виробництва ДМР

Джерело: розроблено автором.

З технологічної та економічної точки зору запропонована технологія має низку переваг порівняно з традиційними способами одержання рослинних екстрактів. На відміну від екстрагування водно-спиртовими розчинами, застосування ультрафільтрату сироватки з-під сиру кислотомолочного виключає необхідність у використанні органічних розчинників, їх подальшому видаленні та утилізації, що сприяє спрощенню технологічного процесу й зниженню експлуатаційних витрат. Одночасно ультрафільтрат виконує подвійну функцію: є екстрагуючим середовищем і складовою готової добавки, завдяки чому відсутні втрати екстрагенту та не виникає необхідності його відокремлення після завершення процесу.

Використання побічного продукту мембранної переробки молочної сироватки дозволяє підвищити рівень комплексної переробки вторинної молочної сировини, скоротити витрати на її утилізацію та збільшити додану вартість кінцевої продукції. У порівнянні з традиційним водним екстрагуванням запропонована технологія забезпечує не лише вилучення біологічно активних речовин рослинної сировини, а й одночасне збереження у продукті цінних компонентів ультрафільтрату, що усуває необхідність додаткового внесення окремих функціональних інгредієнтів. Це свідчить про ресурсозберігаючий характер технології та її потенційну економічну ефективність при промисловому впровадженні.

За органолептичними характеристиками ДМР є прозорою рідиною, світло-бурштинового кольору, з приємним кисло-солодким смаком, з характерним кавово-молочним присмаком та слабко вираженою терпкістю у післясмаку. Це, ймовірно, обумовлено присутністю компонентів якона, у листках якого за літературними даними міститься 60 летких сполук, але в основному специфічний аромат пов'язаний з присутністю похідних коричної кислоти (кавова та хлорогенова кислоти) (Gudz, 2018).

Розроблена технологія ДМР дозволяє поєднати харчову цінність молочної основи із оздоровчими властивостями біологічно активних речовин рослинної природи та створити новий функціональний компонент, що може бути використано в рецептурах низки харчових продуктів.

Отримані результати підтверджують перспективність використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як технологічної основи для створення молочно-рослинних харчових систем. На відміну від традиційних підходів, де молочна сироватка або продукти її переробки використовуються переважно як інгредієнт готових харчових продуктів, у запропонованій технології ультрафільтрат сироватки з-під кисломолочного сиру виконує функцію екстрагуючого середовища, що дозволяє одночасно вилучати біологічно активні речовини з рослинної сировини та формувати склад майбутньої добавки.

Ryan і Walsh (2016) зазначають, що молочна сироватка є одним із найбільш перспективних видів вторинної молочної сировини завдяки високому вмісту лактози, мінеральних речовин і низькомолекулярних компонентів, однак основні напрями її використання пов'язані з виробництвом білкових концентратів, лактози та кормових продуктів (Ryan & Walsh, 2016). Аналогічної думки дотримуються Buchanan та співавтори (2023), які відзначають зростання кількості досліджень щодо комплексної переробки молочної сироватки, проте практично не розглядають можливості використання ультрафільтрату як екстрагента для рослинної сировини (Buchanan et al., 2023). Таким чином, запропонований у роботі підхід розширює наявні напрями використання продуктів мембранної переробки молока.

Встановлені раціональні параметри екстрагування (гідромодуль 1:10, рН 4,4...4,5, температура 45 ± 2 °C, тривалість 45...50 хв) узгоджуються із загальними закономірностями екстракційних процесів, описаними Nielsen (2017). Автор зазначає, що збільшення температури та часу контакту між екстрагентом і рослинною тканиною підвищує швидкість масопереносу, однак надмірне підвищення температури може спричинити деградацію термолабільних біологічно активних речовин (Nielsen, 2017). Саме тому використання помірної температури 45 ± 2 °C забезпечує компроміс між інтенсивністю екстрагування та збереженням біологічно активних компонентів листя якона.

Результати дослідження також узгоджуються з роботою Gudz (2018), яка встановила високий вміст фенольних сполук, органічних кислот та біологічно активних компонентів у листі якона і обґрунтувала можливість його використання як перспективної лікарської рослинної сировини. Разом із тим дослідження автора були зосереджені переважно на фармакогностичній характеристиці рослини і не стосувалися розроблення харчових технологій або використання молочної основи як екстрагента.

Подібні результати щодо антиоксидантного потенціалу листя якона наведені також Yuan та співавтори (2022), які методом ВЕРХ визначили, що найбільшу біологічну

активність проявляють хлорогенова кислота, кофеїнова кислота та інші фенольні сполуки (Yuan et al., 2022). Simon із співавторами (2024) додатково показали, що вміст антиоксидантів у листі значною мірою залежить від стадії розвитку рослини, що підтверджує необхідність стандартизації рослинної сировини під час виробництва харчових добавок (Simon et al., 2024). У даній роботі ці результати враховано шляхом використання стандартизованої підготовленої сировини та оптимізації режимів екстрагування.

Особливу увагу заслуговує взаємодія компонентів молочної та рослинної сировини. Jakobek (2015) показав, що поліфеноли здатні взаємодіяти з білками, вуглеводами та іншими компонентами харчових систем, впливаючи на їхню антиоксидантну активність, стабільність і технологічні властивості (Jakobek, 2015). Хоча ультрафільтрат практично не містить білків, він характеризується високим вмістом лактози та мінеральних речовин, які можуть змінювати іонну силу екстракційного середовища та сприяти переходу екстрактивних речовин із рослинної тканини. Саме цим, імовірно, пояснюється ефективність запропонованого екстрагента.

Відомо також, що фенольні сполуки широко використовуються у харчових технологіях як природні антиоксиданти. Albuquerque із співавторами (2021) зазначають, що перспективним напрямом є створення комплексних функціональних інгредієнтів, які поєднують декілька груп біологічно активних речовин і можуть використовуватися як універсальні компоненти харчових продуктів (Albuquerque et al., 2021). Запропонована ДМР відповідає цьому підходу, оскільки поєднує природні вуглеводи ультрафільтрату, фенольні сполуки, органічні кислоти та інші екстрактивні речовини листя якона.

На відміну від більшості відомих технологій, що передбачають введення вже готових рослинних екстрактів до молочних продуктів або напоїв, запропонований спосіб отримання ДМР дозволяє отримувати екстракт без використання органічних розчинників, оскільки ультрафільтрат сироватки одночасно є екстрагентом і складовою готової добавки. Це спрощує технологічний процес, підвищує рівень комплексної переробки вторинної молочної сировини та виключає стадію видалення екстрагента після завершення екстракції.

Таким чином, результати дослідження не суперечать сучасним уявленням про процеси екстрагування біологічно активних речовин і використання молочної сировини, але суттєво розширюють їх. На відміну від відомих досліджень, у яких молочна сироватка використовується переважно як інгредієнт готових продуктів, а рослинні екстракти отримують водою або водно-спиртовими розчинами, у запропонованій роботі вперше науково обґрунтовано використання ультрафільтрату сироватки з-під кисломолочного сиру як екстрагента листя якона. Це створює передумови для розроблення нового класу молочно-рослинних добавок, спрямованих на комплексне використання вторинної молочної сировини та одержання функціональних інгредієнтів із підвищеною харчовою і біологічною цінністю.

ВИСНОВКИ. Доведено доцільність використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного та підготовленого листя якону для створення ДМР. Добавку отримують шляхом екстрагування харчових компонентів підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного за наступних технологічних режимів: співвідношення обсягів твердої та рідкої фаз (гідромодуль) 1:10; рН екстрагента 4,4...4,5, за температури екстракції $45 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом $\tau = (45...50) \times 60$ с. Це дає змогу вилучити сухі речовини на рівні 1,6 г с.р./100 г екстракту.

За органолептичними характеристиками ДМР є прозорою рідиною, без осаду, світло-бурштинового кольору, з приємним кисло-солодким смаком, характерним кавово-молочним присмаком і слабо вираженою терпкістю в післясмаку.

Розроблена технологія ДМР дозволяє поєднати харчову цінність молочної основи – ультрафільтрату сироватки із цінними властивостями біологічно активних речовин якона та створити новий функціональний компонент, що може бути використано в рецептурах низки харчових продуктів.

Подяки. Немає

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Albuquerque, B. R., Heleno, S. A., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2021). Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. *Food & Function*, 12(1), 14-29. <https://doi.org/10.1039/D0FO02324H>
- Buchanan, D., Martindale, W., Romeih, E., & Hebishy, E. (2023). Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. *International Journal of Dairy Technology*, 76(2), 291-312. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935>
- Chessum, K., Chen, T., Kam, R., & Yan, M. (2023). A Comprehensive Chemical and Nutritional Analysis of New Zealand Yacon Concentrate. *Foods*, 12(1), 74. <https://doi.org/10.3390/foods12010074>
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491-502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
- Gudz, N. A. (2018). Pharmacognostic study of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) and yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) (Doctoral dissertation, National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine).
- Istasse, T., Jacquet, N., Berchem, T., Haubruge, E., Nguyen, B. K., & Richel, A. (2016). Extraction of honey polyphenols: Method development and evidence of cis isomerization. *Analytical Chemistry Insights*, 11, 49-57. <https://doi.org/10.4137/ACI.S39739>
- Jakobek, L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chemistry*, 175, 556-567. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.013>
- Kolesnyk, V., Polupan, V., Penkina, N., Sorokina, S., Penkin, A., Bushtakov, I., & Veretennikov, O. (2025). Substantiation of the dairy-plant additives technology for use in functional products. *Food Science and Technology*, 18(4), 63-73. <https://doi.org/10.15673/fst.v18i4.3145>
- Nielsen, S. S. (Ed.). (2017). *Food analysis* (5th ed.). Cham: Springer. 602. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5>
- Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., & Shingiro, J. B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2446-2458. <https://doi.org/10.1002/fsn3.846>
- Ryan, M. P., & Walsh, G. (2016). The biotechnological potential of whey. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15(3), 479-498. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9402-1>
- Shahidi, F., & Yeo, J. (2018). Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(6), 1573. <https://doi.org/10.3390/ijms19061573>
- Sharma, D., Thakur, A., Sharma, R., Thakur, M., Kumari, N., Kumar, P., et al. (2024). A review on physicochemical characteristics, phytochemical and therapeutic potential of yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Robinson) flour. *Annals of Phytomedicine*, 13(1), 253-267. <https://doi.org/10.54085/ap.2024.13.1.26>
- Simon, E. M., Mburu, M. W., & Koskei, R. K. (2024). The impact of varying stages of maturity on the chemical composition and antioxidant activity of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leafy vegetable. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 6(3), 1-7. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2024.6.3.782>
- State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2003). DSTU ISO 8968-1:2003. Milk. Determination of nitrogen content. Part 1: Kjeldahl method (ISO 8968-1:2001, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

- State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2008). DSTU 5059:2008. Confectionery products. Methods for determination of sugars. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.
- State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2004). DSTU ISO 5984:2004. Animal feeding stuffs. Determination of crude ash (ISO 5984:2002, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.
- State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2005). DSTU ISO 6658:2005. Sensory analysis. Methodology. General guidance (ISO 6658:1985, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.
- Yuan, X.-Y., Li, Z.-Y., Chen, X.-L., Ding, X.-Q., Zhou, Y.-P., Wang, X.-Y., & Li, X.-Y. (2022). Rapid screening of antioxidant activities components from yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. and Endl.) leaves by variable selection based on weight analysis. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1948-1957. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2114494>