

УДК 637.181

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.137>

ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ РОСЛИННОГО АНАЛОГА МОЛОКА

Берник Ірина Миколаївна

доктор технічних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0002-1367-3058>,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, Героїв Оборони, м. Київ, Україна*

Драчук Ігор Олегович

аспірант

<https://orcid.org/0000-0003-0018-2871>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, Героїв Оборони, м. Київ, Україна*

Анотація. Рослинні напої, як повноцінні замітники традиційного тваринного молока, набувають значного поширення у сучасному світі. Зростаючий попит на рослинні аналоги молока зумовлений рядом причин, зокрема, збільшенням кількості людей з лактозною непереносимістю, популярністю веганського харчування, а також підвищенням уваги споживачів до екологічних аспектів виробництва. Мета роботи полягала у порівняльному аналізі ключових рослинних інгредієнтів та технологічних аспектів для обґрунтування ефективного рослинного інгредієнту та процесів виробництва рослинного аналога молока. Дослідження засвідчують найбільш поширену технологію отримання рослинного аналога молока, яка базується на процесах змішування води з подрібненими рослинними інгредієнтами з подальшим віджиманням та фільтрацією. Встановлено, що в сучасних технологіях виготовлення рослинного аналога молока домінують такі інгредієнти, як овес, соя, арахіс, мигдаль, мак, горіхи, кокос, кунжут, рис. Застосування широкої гами інгредієнтів обумовлено тим, що вони по різному впливають на смакові та біологічні властивості, відрізняються вмістом макро- та мікронутрієнтів. Дослідження процесів та методів виготовлення рослинного аналога молока умовно можна розділити на два напрямки. До першого напрямку відносяться дослідження властивостей базових інгредієнтів, їх впливу на харчову та біологічну цінність. У постановочному вигляді зазначається застосування зерен коноплі, як можливого інгредієнта для виготовлення рослинного аналога молока, завдяки вмісту поліненасичених жирних кислот та жиророзчинних вітамінів. Але відмічається практична відсутність широких наукових досліджень важливості використання зерна коноплі для створення рослинного аналога молока. До другого напрямку досліджень відносяться вдосконалення та пошук раціональних рішень основних процесів технології диспергування, змішування та гомогенізації на основі використання ультразвукових кавітаційних технологій.

Ключові слова: *рослинний напій, технологія, інгредієнт, ультразвук.*

UDC 637.181

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.137>

ASSESSMENT AND ANALYSIS OF METHODS FOR OBTAINING PLANT-BASED MILK ANALOGUES

Iryna Bernyk

Doctor of Technical Sciences, Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-1367-3058>,

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine*

Igor Drachyk

Postgraduate Student,

<https://orcid.org/0000-0003-0018-2871>

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine*

Abstract. Plant-based beverages, serving as full-fledged substitutes for traditional dairy milk, are gaining significant popularity worldwide. The increasing demand for plant-based milk alternatives (analogues) is driven by a number of factors, including the rising incidence of lactose intolerance, the popularity of vegan diets, and growing consumer awareness of the environmental and ethical aspects of production. The aim of this study was to conduct a comparative analysis of key plant-based ingredients and technological processes to substantiate the most effective ingredient and production methods for a plant-based milk analog. The research confirms that the most common technology for producing plant-based milk analogues is based on a process that involves mixing water with crushed plant ingredients, followed by pressing and filtration. It is established that modern analog manufacturing technologies predominantly utilize ingredients such as oats, soy, peanuts, almonds, poppy seeds, nuts, coconut, sesame, and rice. The use of a wide range of ingredients is due to their varying impact on flavor and biological properties, as well as differences in macro- and micronutrient content. The research on the processes and methods for manufacturing plant-based milk analogues can be conventionally divided into two main areas. The first area includes studying the properties of base ingredients and their influence on nutritional and biological value. A promising application is noted for hemp seeds as a potential ingredient for plant-based milk analogues, owing to their content of polyunsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins. However, the study notes the practical lack of extensive scientific research on the importance of using hemp seeds for creating plant-based milk. The second area of research involves improving and searching for rational solutions to the core technological processes of dispersion, mixing, and homogenization, often utilizing ultrasound cavitation technologies.

Keywords: *plant-based beverage, technology, ingredient, ultrasound.*

Вступ. Рослинні аналоги молока відомі з древніх часів у вигляді напоїв, що нагадувало собою розчин, подібний до розведеного водою молока. Для отримання такого напою рослинний інгредієнт розтирали у глиняному посуді, перемішували його з теплою водою, настоювали та проціджували. Основна відмінність такого напою від тваринного молока полягає у відсутності лактози, казеїну та тваринного жиру, що є дуже важливим показником значного попиту на його використання. Така технологія отримання рослинного аналога молока була широко поширена на різних континентах світу і відрізнялася виключно використанням рослинних інгредієнтів. На теренах України типовими інгредієнтами рослинних напоїв були мак, горіхи та соя. У латиноамериканських країнах використовували кокос, кунжут, арахіс, мигдаль; у Північній Африці це горіхи чуфи або земляного мигдалю; у Кореї та Японії використовували рис.

В роботі Clay et al. (2020) наведені дані, що пов'язані із обмеженнями сучасної тенденції переходу до більш справедливого та сталого виробництва та споживання харчових продуктів на рослинній основі. Важливість необхідності та актуальності виробництва альтернатив коров'ячому молоку також обумовлені загрозою постачання продовольства внаслідок таких подій, як COVID-19 (Kubatko et al., 2023), зміна клімату (The Good Food Institute, 2019), забруднення навколишнього середовища та інші. Згідно даних Daryani (2024), виробництво рослинного аналога молока здійснюється рядом компаній: Alpro, Silk, Oatly, Liqueats, Califia Farms; Plenish Drinks, Rude Health, Rebel Kitchen, Ripple, EcoMil, Alpro, Natumi, Natur Green, Riso Scotti 21, Joya та інші.

Огляду всебічного, науково порівнянного процесу процедур приготування, харчової цінності та сенсорних характеристик рослинних аналогів молока присвячена робота Fargoog at al., (2023). Як відмічається в роботі Onegina at al., (2022), виходячи із прогнозу компанії з маркетингових досліджень Brainy Insights передбачається зріст ринку рослинного аналога молока зі значення \$20 млрд до \$51,87 млрд протягом наступного десятиліття. Ramsing at. al. (2023), зазначає доцільність проводити і надалі дослідження, щодо розробки нових видів рослинних аналогів молока із урахуванням їх впливу на здоров'я, можливостей частішого споживання, здатності їх тривалого зберігання.

Таким чином, відбуваються суттєві зміни пріоритетів в харчовій промисловості. Тренди та реалії сучасного світу спонукають до пошуку та впровадження сучасних технологій виробництва рослинного аналога молока, рішення якої є актуальною задачею. У теперішньому визначені це науково-обґрунтований вибір рослинної сировини, вдосконалення та пошук раціональних рішень основних процесів технології виробництва, зокрема, диспергування, змішування та гомогенізації. Застосування ультразвукової кавітаційної обробки обраного рослинного інгредієнту у водному розчині є перспективним напрямком однією із операцій отримання рослинного аналога молока.

Мета та задачі дослідження. Мета роботи полягала у порівняльному аналізі ключових рослинних інгредієнтів та технологічних аспектів для обґрунтування ефективного рослинного інгредієнту та процесів виробництва рослинного аналога молока. Для досягнення означеної мети сформульовані та вирішені наступні задачі:

- оцінка складу та якостей базових інгредієнтів для рослинного аналога молока;
- огляд існуючих технологій та стадій приготування рослинного напою;
- обґрунтування вибору методу дослідження процесів виробництва рослинного аналога молока.

Огляд та оцінка літературних джерел. Дослідження процесів та методів виготовлення рослинного аналога молока, що наводяться у літературних джерелах, умовно можна розділити на два основних напрямки. Це визначення властивостей базових інгредієнтів, їх впливу на харчову та біологічну цінність, в тому числі захисна роль проти окислювального пошкодження. Окрім цього, дослідження вмісту у складі базових інгредієнтів рослинного аналога молока макро- та мікронутрієнтів, їх вплив на якісні характеристики, смак, в тому числі, здатність до тривалого зберігання. Другий напрямок, це дослідження стадій процесів виробництва рослинного аналога молока, його фізико-механічних властивостей, визначення параметрів процесу, енергоефективність.

За першим напрямком у роботі Clay at al. (2020), наведено результати оцінки складу рослинного аналога молока за використання різних інгредієнтів. Це зернівки злакових культур: рис, овес, кукурудзу, жито, пшениця. Горіхи включають кокос, мигдаль, волоський горіх, фісташки, тигровий горіх та фундук; псевдозлаки включають кіноа та амарант; бобові включають сою, коров'ячий горох та арахіс; тоді як насіння містить льон, кунжут, коноплі, соняшник та гарбуз (Munekata at al. (2020); Zheng at al. (2021)). В статті авторів Odure at al. (2021) досліджено рослинне молоко, отримане із суміші арахісу, насіння дині та кокосу. Разом з тим, здебільшого відсутні відомості щодо порівняльних характеристик за виділення найбільш кращого варіанту рослинного аналога молока. Винятком є робота Marchenko (2015), де приведено порівняння базових інгредієнтів за показниками енергетичної цінності вмісту білків, жирів, вуглеводів, харчових волокон, кальцію, заліза, вітаміну А. Практично відсутні наукові дослідження важливості використання зерна коноплі для створення рослинного аналога молока, хоча цінність конопляної олії відмічається у згаданій вище роботі.

За другим напрямком досліджень варто звернути увагу на роботи Bernyk et al. (2016); Luhovskiy at al. (2021), в яких пропонується в якості процесу обробки технологічного рідкого середовища застосування ультразвукової кавітації. Ультразвукова обробка сприяє виникненню в рідкому середовищі ефекту кавітації – імпульсів стиснення та мікропотоків від

руху в різних напрямках, сплескування і злиття один з одним виникаючих у рідині маси пульсуючих бульбашок (Bernyk, 2016). Внаслідок зазначених ефектів відбувається руйнування у рідині частинок твердої фази (кавітаційна ерозія), рідина перемішується, прискорюються механічні та масообмінні процеси. Як зазначено в роботі Luhovskyi et al. (2021), ефективність кавітаційних процесів обумовлено параметрами ультразвукового впливу.

Отже, застосування ультразвукової кавітації потребує обґрунтування можливого застосування для реалізації процесу стабілізації компонентного складу рослинного середовища. У разі позитивного результату відкриється можливість відмовитися від окремого етапу гомогенізації при виробництві рослинного аналога молока.

Оцінка складу та якостей інгредієнтів, як основної сировини для виробництва рослинного аналога молока.

Згідно даних Clay et al. (2020) зростаючий попит на рослинний аналог молока обумовлено низкою факторів, зокрема, непереносимість лактози, сучасні бажання населення світу до змін в продуктах харчування, попит на органічні продукти, екологічні проблеми, висока біологічна цінність і різноманітність смаків продукту.

Відомі лідери виробництва рослинного аналога молока EсоMil (Іспанія), Alpro (Бельгія), Natumi (Німеччина), Natur Green (Іспанія), Riso Scotti 21 (Італія), Joya (Австрія) та інші.

В роботі Сімахіної та ін. (2021) зазначено, що вітчизняний ринок також досить різноманітний, представлено щонайменше 10 різних видів продукції. Українські виробники, серед яких лідерами є компанії Люстдорф та Вітмарк-Україна, займають близько 55% вітчизняного ринку.

Нині існує значний асортимент видів рослинного аналога молока, який відрізняється сировиною, з якої виготовлено напої. Хоча не існує чіткої класифікації видів рослинних аналогів молока, залежно від джерела його можна класифікувати на 5 видів (рис.1).



Рисунок 1. Класифікаційні ознаки рослинного аналога молока за видом базових інгредієнтів

Джерело: розроблено авторами на основі досліджень А. Romulo (2022)

Рослинні напої є важливим джерелом вологи, вуглеводів, білків, жирів, ненасичених жирних кислот, клітковини, вітамінів, мінералів та незамінних жирних кислот (Aydar et al., 2020; McClements et al., 2021). Найважливішим процесом отримання високоякісного рослинного аналога молока є вибір інгредієнтів та визначення технології його виготовлення. Напій вівсяний, кеш'ю та соєвий мають високий рівень білка, як зазначає Aydar et al. (2020). Згідно досліджень Zandona, L. et al. (2021), соєвий напій містить вітаміни групи В, особливо

ніацин, фолієву кислоту та піридоксин. Відмічається також наявність таких мінералів, як залізо, мідь, магній та цинк, а також мононенасичених та поліненасичених жирів, таких як лінолева та ліноленова кислоти. Конопляний напій містить молібден, а кокосовий – хром і селен (Astolfi, L. M., 2020). Згідно даних Rincon (2020), рослинний напій із суміші нуту та кокосу має вищий вміст ліпідів, кальцію та білка порівняно з коров'ячим молоком. Дослідження, наведене в роботі Aydar et al. (2023), показало, що рослинний напій із квасолі має багаті біодоступні антиоксидантні властивості з високим вмістом жирних кислот і може бути альтернативним продуктом для харчової промисловості.

Рослинні аналоги молока демонструють широкий спектр властивостей, що залежать від сировини (Penha et al., 2021). Соевий напій вирізняється найвищим вмістом білка. Мигдалевий аналог надає ніжної текстури та горіхового аромату, тоді як кокосовий напій має насичений і кремовий смаковий профіль. Вівсяне молоко стало популярним завдяки кремовості та багатофункціональності. Серед горіхових альтернатив, молоко кеш'ю приваблює своєю природною солодкістю та маслянистим присмаком. Крім того, рисовий напій є важливим для чутливих споживачів завдяки своїм гіпоалергенним характеристикам.

Огляд існуючих методів та стадій отримання рослинного аналога молока.

Технологічні аспекти виробництва рослинного аналога молока спрямовані на максимальне вилучення цільових компонентів з сировини та отримання напою, який імітує коров'яче молоко за зовнішнім виглядом, хімічним складом та консистенцією. При цьому особливості технологічних рішень та параметри визначаються фізико-хімічними та біологічними властивостями сировини. З досліджень Penha et al. (2021) встановлено, що отримання рослинного аналога молока відрізняється між собою вибором того чи іншого інгредієнта та застосуванням технологічних операцій. Однак, існують деякі загальні основні етапи, які часто використовуються у виробничому процесі. До них належать: попередня обробка сировини, подрібнення та екстракція, емульгування та стабілізація, ароматизація та збагачення, пастеризація, упаковка та зберігання, а також контроль якості.

На рис. 2 приведена схема отримання вівсяного напою із загальним вмістом сухих речовин у діапазоні $25,01 \pm 0,15\%$ та значенням індексу консистенції $1,01 \pm 0,08$ Па·с було досягнуто з 1 кг вівсяних пластівців та концентрацією ферменту (альфа-амілази) 2,1% (мг/кг).



Рисунок 2. Блок-схема приготування вівсяного молока

Джерело: розроблено авторами на основі досліджень Peters et al. (2023).

Для зменшення бобового смаку соєвого напою включають вакуумну обробку за високої температури, яка призводить до видалення більшості летких сполук (коротколанцюгових

жирних кислот, стеролів, сірчаних сполук тощо), що призводить до кращого сприйняття продукту для споживачів; метод гарячого помелу Корнелла, за якого соєві боби обробляли гарячою водою або паром та подрібнювали для отримання суспензії за температури 80 °С, суспензію потім витримували за цієї температури протягом 10 хв для інактивації ліпоксигенази; метод попереднього бланшування Іллінойсу (рис. 3), де замочені соєві боби бланшували в окропі для інактивації ліпоксигенази. Окрім цих методів, використовують лужне замочування, використання знежиреного борошна, ізолятів та концентратів соєвого білка, які певною мірою зменшують бобовий смак.

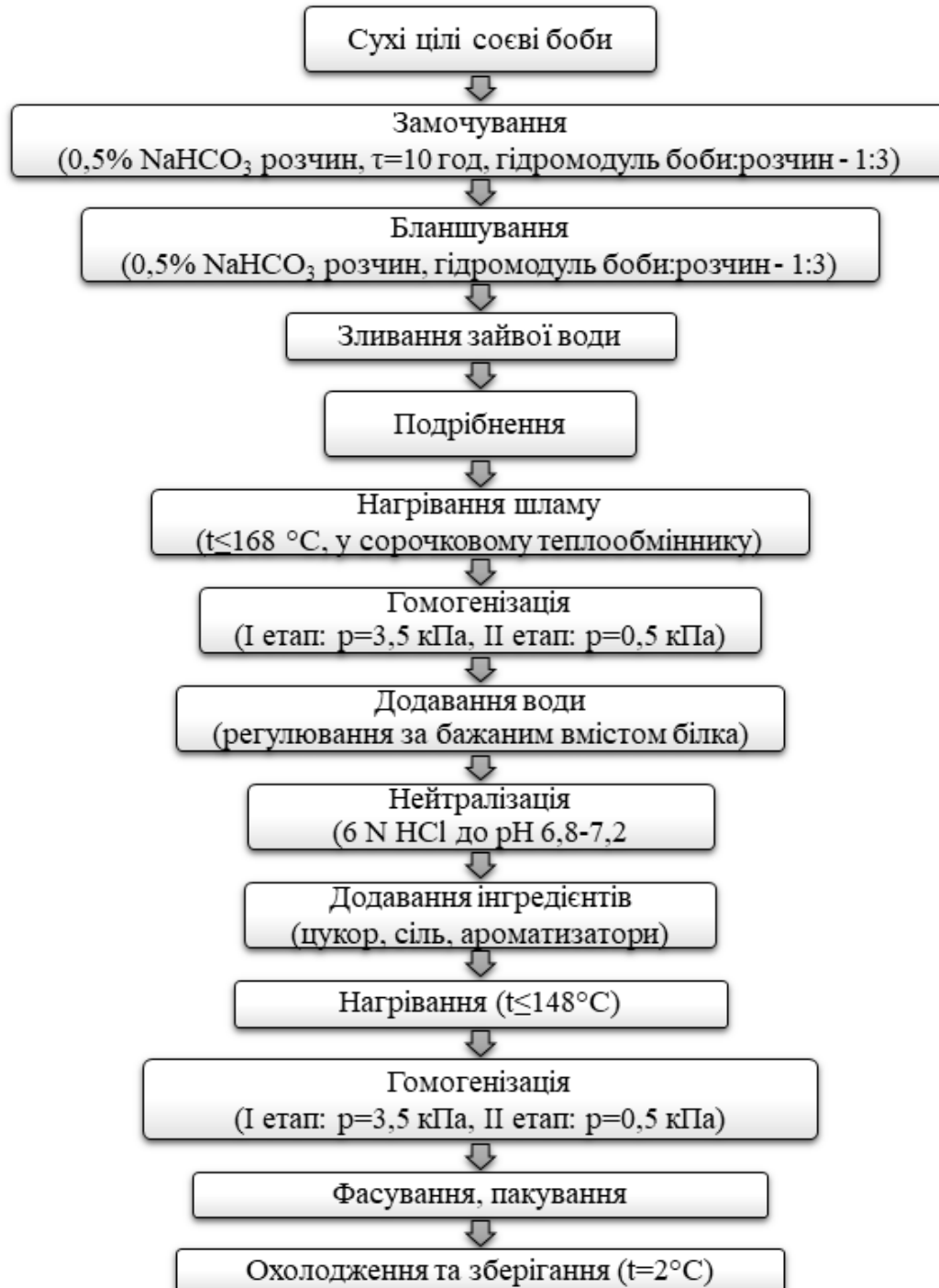


Рисунок 3. Блок- схема процесу приготування соєвого напою

Джерело: розроблено авторами на основі досліджень Aydar et al. (2020)

Розглянемо деякі особливості сировини для рослинних аналогів молока. У своїй роботі Peters et al. (2023) вказують, що овес є багатим джерелом поживних речовин, включаючи фенольні сполуки, сапонін, стероли, фітинову кислоту та інші антиоксидантні компоненти.

Овес також містить важливі клітковинні складові: полісахариди, олігосахариди та лігнін. При цьому, як показують дослідження Peters et al. (2023), збагачення рослинних напоїв, таких як вівсяні, сочевицею або горохом суттєво підвищує концентрацію амінокислот.

Як вважають Aydar et al. (2020) виробництво та споживання соєвого напою значно зросло за останні два десятиліття завдяки його харчовій цінності та користі для здоров'я. В роботі Khamzaeva et al. (2024) відмічається, що окрім відсутності лактози та холестерину в соєвому напої, його білковий склад досить схожий на коров'яче молоко.

Серед олійних культур арахіс є перспективною сировиною для приготування рослинного аналога молока. Арахіс вважається корисним завдяки біологічно активним компонентам, відомим своїми профілактичними властивостями щодо захворювань. Арахіс є джерелом білків, жирів, клітковини, вітамінів, мінералів, антиоксидантів, фітостеролів тощо, має потенціал для покращення рівня цукру в крові та тривалості життя. Блок-схему приготування арахісового напою приведено на рис. 4.



Рисунок 4. Блок- схема процесу приготування арахісового напою
Джерело: розроблено авторами

Цілі ядра арахісу спершу очищують, зважують та промивають. Потім ядра замочують у воді протягом 18 годин при співвідношенні маси арахісу до об'єму води 1:3 (маса/об'єм). Після цього воду зливають, а арахіс ретельно промивають. Надалі арахіс подрібнюють у млині та змішують з водою (ядро арахісу : вода – гідромодуль 1:6). Отриману в результаті суспензію ретельно фільтрують. Отриманий таким чином рослинний аналог молока зберігають у герметичних контейнерах за температури 4 °С. Мокре подрібнення для отримання арахісового екстракту є найпоширенішим методом. Водночас, були успішно описані й інші методи із застосуванням повножирного або частково знежиреного арахісового борошна.

Виробництво кунжутного напою є одним із методів збільшення споживання кунжуту як чудового харчового ресурсу. Технологічна схема отримання кунжутного аналога молока, що детально зображена на рис. 5, включає ключові етапи: замочування, подрібнення та гомогенізацію, які забезпечують максимальну екстракцію цінних компонентів.

Завдяки високому вмісту білка, ненасичених жирних кислот та мінералів, кунжутний напій є перспективною альтернативою іншим рослинним аналогам.

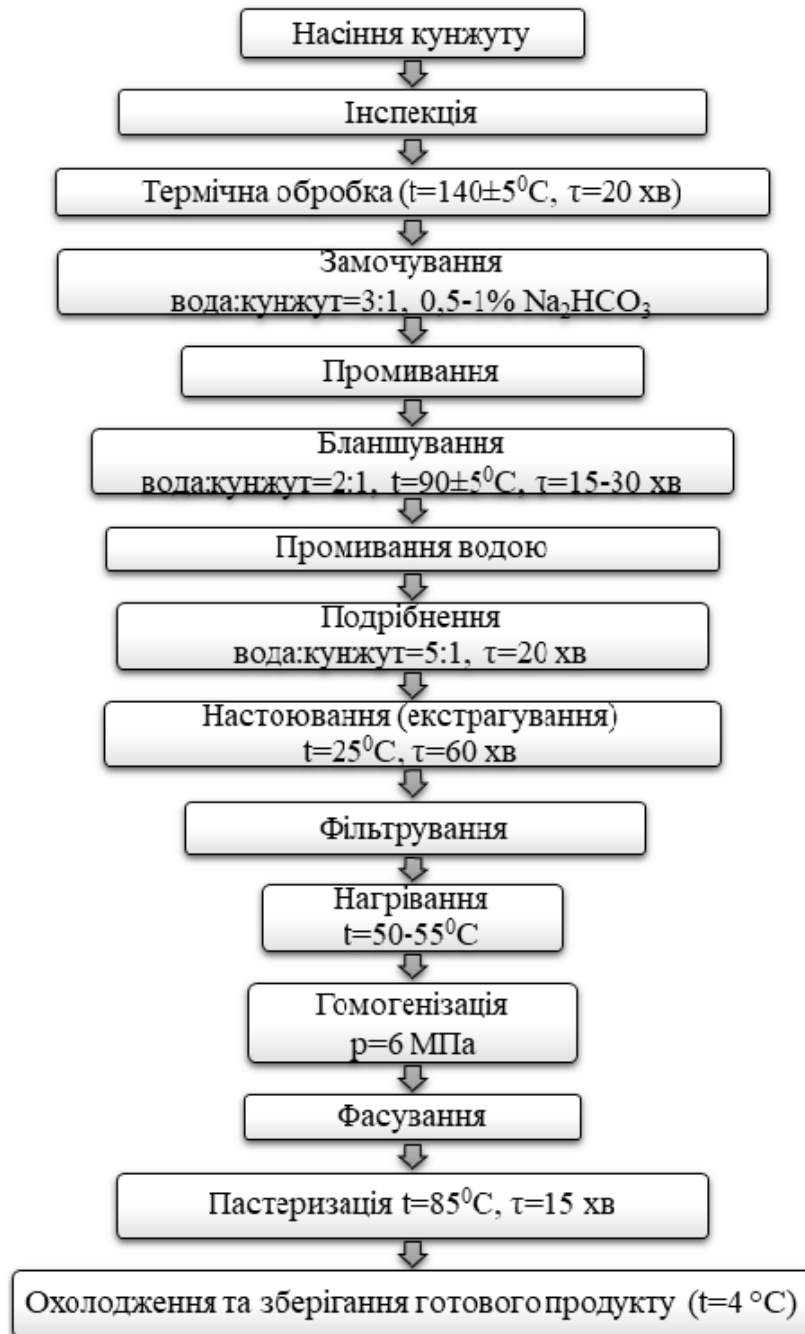


Рисунок 5. Блок-схема приготування кунжутного напою

Джерело: розроблено авторами

Одним із можливих інгредієнтів рослинного аналога молока є конопля, дослідження процесів приготування якого іще знаходиться в дослідницькій стадії. Її використовують не тільки для виробництва продуктів харчування, а й одягу, текстилю, пластмас, паперу, фарб, а також як корм для тварин. Це підкреслює її виняткову універсальність як сировини та економічну доцільність її культивування. Насіння коноплі має багатий нутрієнтний профіль, що включає поліненасичені жирні кислоти (Омега-3 та Омега-6) та високий вміст білка, що робить його перспективним для розробки функціональних напоїв.

Процес виготовлення рослинного аналога молока починається з дбайливого вибору сировини. При цьому доцільним є врахування не лише виду сировини, а також походження і сорту обраних рослинних інгредієнтів, умов їхнього вирощування. Збереженість цільових

компонентів сировини потребує дбайливого підходу до збору врожаю, транспортування та зберігання.

Підготовка рослинної сировини для виробництва аналогів молока зазвичай включає кілька типових етапів. Спершу проводиться очищення та сортування, мета яких - видалення механічних домішок та некондиційних елементів. Після цього сировину готують до екстракції шляхом замочування та бланшування. Для замочування використовують підготовлену воду. Цей процес сприяє пом'якшенню, зволоженню та набуханню сировини, а також впливає на вміст ферментів, що в цілому полегшує подальшу обробку та допомагає сформувати необхідні фізико-хімічні властивості напою. Для деяких видів сировини, особливо для насіння та горіхів, доцільною є технологічна операція бланшування. Ця операція допомагає зберегти колір, текстуру та поживні властивості сировини. Низкою досліджень також встановлено такі переваги бланшування, як інактивація ферментів, зниження контамінації мікрофлорою (Sethi et al., 2016), зниження вмісту антинутриєнтів і сторонніх присмаків (Pua et al., 2022), підвищення біологічної цінності готового продукту (Ferawati et al., 2021).

Процес подрібнення сировини здійснюється механічними, хімічними, а також ферментативними методами (Zheng et al., 2021). Деякі новітні технології надтонкого подрібнення, включаючи струменеве, кульове та колоїдне, набувають популярності для рослинних борошняних матеріалів (Guo et al., 2021). При цьому застосовують метод мокрого подрібнення шляхом додавання до підготовленої сировини води спочатку грубим подрібненням та наступним тонким, як наслідок, отримують суспензію.

Silva et al., (2020) зазначає, що процес екстрагування є важливим етапом виробництві рослинного аналога молока, оскільки формує органолептичні та фізико-хімічні властивості готового продукту. При цьому особливий вплив має спосіб екстрагування та технологічні параметри, зокрема величина рН, гідромодуль та температура. Ефективна реалізація процесу залежить від клітинної проникності рослинної сировини, а також її дисперсності. Доцільним є врахування дифузійного опору та гідродинамічних властивостей процесу. На сьогоднішній день відомо значний арсенал техніко-технологічних рішень реалізації процесу, при цьому основними критеріями вибору є тривалість, енерговитрати та якість отриманого екстракту (Луговський та ін., 2022). Небажані домішки (переважно грубі частки рослинної сировини) з екстрагенту відокремлюються за допомогою седиментації, центрифугування чи фільтрування. Дисперсна фаза отриманої суспензії містить різноманітні хімічні речовини (жир, білок, клітковина, крохмаль та інші), які мають різний розмір та призводять до дестабілізації системи під час зберігання.

Стабільність готового харчового продукту є обов'язковою сучасною вимогою, яку можна досягти за використання процесу гомогенізації та, за необхідності, стабілізаторів. Процес гомогенізації забезпечує зменшення ступеню неоднорідності розподілу речовин і фаз по всьому об'єму. За допомогою зсувних сил гомогенізація використовується для зменшення розмірів компонентів дисперсної фази в діапазоні від 0,5 до 30 мкм. Гомогенізація під надвисоким тиском є однією з технологій обробки, в результаті якої частинки меншого та більш однорідного розміру можуть бути ефективно використані для покращення стабільності молока. Відповідно до досліджень Pua et al., (2022), технологічні параметри стандартні для коров'ячого молока, можуть бути неефективними для рослинного аналога молока через відмінності у мікроструктурі та складі рослинних інгредієнтів. Гетерогенність частинок дисперсної фази у рослинному молоці потребує досліджень, щодо уточнення механізмів та параметрів гомогенізації.

Необхідним для гарантування безпеки продукту та подовження його терміну придатності є процеси, які забезпечують зниження мікробного та ферментного навантаження до рівнів, безпечних для споживання (Bocker and Silva, 2022). Традиційно для цього застосовують термічні методи, такі як високотемпературна короткочасна (HTST) або надвисокотемпературна (UHT) обробка. Як альтернатива традиційним термічним процесам, можлива обробка високоінтенсивним ультразвуком, мікрохвилями, високим тиском,

імпульсним електричним полем, надкритичним вуглекислим газом, ультрафіолетовим випромінюванням та застосування омичного нагрівання (Aydar et al., 2020).

Пакування та зберігання забезпечують підтримку якості та безпеки готового продукту. На цьому етапі з особливою ретельністю обирають відповідні пакувальні матеріали, наприклад картонні коробки, пляшки чи пакети, головне завдання яких - захистити молоко від світла та зовнішніх забруднювачів (Liu et al., 2022).

Таким чином, одним із найважливіших показників рослинного аналога молока є його стабільність, яка залежить від розміру частинок дисперсної фази. А оскільки рослинний аналог молока - це колоїдні системи, утворені дисперсними частинками великого розміру, то виникає проблема отримання стабільного продукту через осідання твердих частинок, що утруднює зберігання його не дуже тривалий час.

Ефективність ультразвукової кавітаційної технології підтверджена застосуванням в різних технологічних процесах. Так, в роботі Луговського та ін., (2022) отримані успішні результати високої ефективності екстрагування пектину. В подальших дослідженнях (Nazarenko et al., 2021) запропонована та розвинута теорія ультразвукової кавітації на основі фізичного та математичного моделювання стадій утворення, розвитку та сплескування бульбашок рідких хімічних середовищ за умов мінімізації енергії та прискорення процесів їх обробки у часі. Саме такий методологічний підхід розглядається як основний у подальших дослідженнях процесів приготування рослинного аналога молока.

Висновки

1. Оцінка складу та якостей базових інгредієнтів показала наявність п'яти основних класифікаційних ознак рослинного аналога молока за видом базових інгредієнтів, серед яких домінують зерно-бобові, горіхові та олійні. Серед інгредієнтів для виробництва рослинних напоїв найбільше досліджені: соя, мигдаль, овес, арахіс та кунжут. Звертається увага на необхідність досліджень приготування рослинного аналога молока на основі використання як інгредієнта коноплі, яка володіє високими показниками порівняно із іншими.

2. Здійснений огляд існуючих методів та стадій приготування рослинного аналога молока, що дозволило окреслити та порівняти ключові технологічні операції, спрямовані на максимальне вилучення цільових компонентів із сировини.

3. Виявлено, що одним із невирішених завдань в повному об'ємі є досягнення такого показника рослинного аналога молока, як стабільність, який реалізується гомогенізацією. Визначено, що найбільш ефективним процесом гомогенізацією є ультразвукова кавітаційна обробка, застосування якої обрано основним методом дослідження процесів створення рослинного аналога молока із використанням як інгредієнта коноплі.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Clay, N., Sexton, A.E., Garnett, T. et al. (2020). Palatable disruption: the politics of plant milk. *Agriculture and Human Values*, 37, 945–962. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10022-y>.
- Kubatko, O., Merritt, R., Duane, S., and Piven, V. (2023). The impact of the COVID-19 pandemic on global food system resilience. *Mechanisms of Economic Regulation*, 1 (99), 144–148. <https://doi.org/10.32782/mer.2023.99.22>.
- The Good Food Institute. (2019). Plant-based food retail sales are growing 5x total food sales. 16 July. <https://www.gfi.org/spins-datarelease-2019>. Accessed 9 Nov 2019.
- Daryani D, Pegua K, Aryaa SS. (2024) Review of plant-based milk analogue: its preparation, nutritional, physicochemical, and organoleptic properties. *Food Science and Biotechnology*, Feb 24; 33(5):1059-1073 <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01482-z>.

- Farooq, A., Farooq, N., Akbar, H., Hassan, Z. U., and Gheewala, S. H. (2023). A critical review of climate change impact at a global scale on cereal crop production. *Agronomy*, 13 (1), 162. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010162>.
- Onegina V.M., Antoshchenkova V.V., Kravchenko Y.M. (2022). The state of the world market for alternative dairy products. *Bulletin of KhDU. Economic Sciences Series*, 46, 5-10. doi: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2022-46-1>.
- Ramsing R, Santo R, Kim BF, Altema-Johnson D, Wooden A, Chang KB, Semba RD, Love DC. (2023) Dairy and Plant-Based Milks: Implications for Nutrition and Planetary. *Current Environmental Health Reports*, 10 (3), 291-302. <https://doi.org/10.1007/s40572-023-00400-z>.
- Munekata, E. S. P., Domínguez, R., Budaraju, S., Roselló-Soto, E., Barba, J. F., Mallikarjunan, K., et al. (2020). Effect of innovative food processing technologies on the physicochemical and nutritional properties and quality of non-dairy plant-based beverages. *Foods*, 9, 288. <https://doi.org/10.3390/foods9030288>.
- Zheng, B., Zhou, H., and McClements, D. J. (2021). Nutraceutical-fortified plantbased milk analogs: bioaccessibility of curcumin-loaded almond, cashew, coconut, and oat milks. *LWT - Food Science and Technology*, 147, 111517. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111517>.
- Oduro, A. F., Saalia, F. K., and Adjei, M. Y. B. (2021). Sensory acceptability and proximate composition of 3-blend plant-based dairy alternatives. *Foods*, 10 (3), 482. <https://doi.org/10.3390/foods10030482>.
- Marchenko, Zh. Yu. (2015). Directions for Using Hemp Products Worldwide. *Lub'yani ta tekhnichni kul'tury*, 4, 159–165. URL:http://nbuv.gov.ua/UJRN/zn_pilk_2015_4_24.
- Bernyk I., Luhovskyi O., Nazarenko I. (2016). Research staff process of interaction and technological environment in developed cavitation. *Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute*, 1 (76), 12–19. <https://doi.org/10.20535/2305-9001.2016.76.39735>.
- Luhovskyi O., Bernyk I., Gryshko I., Abdulina D. Zilinskyi A. (2021). Mobile Equipment for Ultrasonic Cavitation Inactivation of Microorganisms in the Liquid Environment. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 24, 272–281. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59509-8_24.
- Bernyk I. (2017). Theoretical aspects of the formation and development of cavitation processes in technological environment. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 19 (3), P. 5–13.
- Simakhina G.O., Krovopuskova A.I. (2021). Plant analogues of milk - a new direction in food technologies: Materially conference, Kyiv, November 16, 2021.
- Romulo, A. (2022). Nutritional contents and processing of plant-based milk: a review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 998 (1), 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012054>.
- Aydar, E. F., Tutuncu, S., and Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, 103975. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975>.
- McClements, D. J., and Grossmann, L. (2021). The science of plant-based foods:constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20, 4049–4100. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12771>.
- Zandona, L., Lima, C., and Lannes, S. (2021). Plant-based milk substitutes: factors to lead to its use and benefits to human health. *Milk Substitutes - Selected Aspects*. 1, 1–16. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94496>.
- Astolfi, L. M., Marconi, E., Protano, C., and Silvia, C. S. (2020). Comparative elemental analysis of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Food control*, 116, 107327. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107327>.
- Rincon, L., Botelho, R. B. A., and de Alencar, E. R. (2020). Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *LWT - Food Science and Technology*, 128, 109479. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109479>.

- Aydar, E. F., Mertdinç, Z., Demircan, E., Çetinkaya, S. K., and Özçelik, B. (2023). Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) milk substitute as a novel plant-based drink: fatty acid profile, antioxidant activity, in-vitro phenolic bio-accessibility and sensory characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103254. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103254>.
- Penha, C. B., Santos, V. D. P., Speranza, P., and Kurozawa, L. E. (2021). Plant-based beverages: ecofriendly technologies in the production process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 72, 102760. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102760>.
- Peters O. O., Afolabi M. O., Makinde F. M. (2023). Chemical, physico-chemical and sensory properties of yoghurt and yoghurt simulates produced from the blends of cow milk and coconut milk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1219:12020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1219/1/012020>.
- Khamzaeva N, Kunz C, Schamann A, Pferdmenges L, Briviba K. (2024). Bioaccessibility and digestibility of proteins in plant-based drinks and cow's milk: antioxidant potential of the bioaccessible fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72:2300–8. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c07221>.
- Sethi, S., Tyagi, S. K., and Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53 (9), 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>.
- Pua, A., Tang, V. C. Y., Goh, R. M. V., Sun, J., Lassabliere, B., and Liu, S. Q. (2022). Ingredients, processing, and fermentation: addressing the organoleptic boundaries of plant-based dairy analogues. *Foods*, 11 (6), 875. <https://doi.org/10.3390/foods11060875>
- Ferawati, F., Hefni, M., Östbring, K., and Witthöft, C. (2021). The application of pulse flours in the development of plant-based cheese analogues: proximate composition, color, and texture properties. *Foods*, 10, 2208. doi:10.3390/foods10092208.
- Guo, X., McClements, D. J., Chen, J., He, X., Liu, W., Dai, T., et al. (2021). The nutritional and physicochemical properties of whole corn slurry prepared by a novel industry-scale microfluidizer system. *LWT - Food Science and Technology*, 144, 111096. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111096>.
- Silva, A. R. A., Silva, M. M. N., and Ribeiro, B. D. (2020). Review: health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131, 108972. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108972>.
- Luhovskyi, O. F., Shulha, A. V., Bernyk, I. M., Hryshko, I. A., Movchaniuk, A. V., & Zilinskyi, A. I. (2022). Ultrasonic technological processes. Spraying and extraction. Monograph. Vinnytsia: Vydavets FOP Kushnir Yu. V. 288.
- Bocker, R., and Silva, E. K. (2022). Innovative technologies for manufacturing plant based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, 5, 100098. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100098>.
- Aydar, E. F., Tutuncu, S., and Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, 103975. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975>.
- Liu, X., Le Bourvellec, C., Yu, J., Zhao, L., Wang, K., Tao, Y., et al. (2022). Trends and challenges on fruit and vegetable processing: insights into sustainable, traceable, precise, healthy, intelligent, personalized and local innovative food products. *Trends in Food Science & Technology*, 125, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.016>.
- Dynamic processes in technological technical systems: monograph / I. Nazarenko, O. Dedov, I. Bernyk, A. Bondarenko, A. Zapryvoda, M. Nazarenko et. al. Kharkiv: PC Technology Center, 2021. 196.

Отримано 16.07.2025 р., прийнято до друку 10.09.2025 р.