УДК 663.8-035.67
https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2026.98

СТВОРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ НАПОЇВ ТА ДД-БАД НА ОСНОВІ ПРИРОДНОГО ПРЕБІОТИКА СТОЛОВОГО БУРЯКА

Андрій Миколайович Починок
https://orcid.org/0009-0005-2771-3670
ТОВ «Медікал Стрім»
43587403, Львівське шосе, 51/2, м. Хмельницький, Україна
Олена Іванівна Вічко
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-5440-548X
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
46025, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна
Ольга Василівна Швед
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-6023-8067
Національний університет «Львівська політехніка»
79013, вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна
Галина Вікторівна Карпик
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-5374-8368
Ірина Степанівна Назарко
кандидат педагогічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0001-6961-0091
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
46025, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна

Анотація. Роботу присвячено розробці технологічних рішень для створення функціональних напоїв та дієтичних добавок (ДД-БАД) із вираженими пребіотичними властивостями на основі буряка столового (Beta vulgaris rubra) за результатами дослідження інноваційних дієтичних добавок, отриманих шляхом молекулярного фракціонування та ультрафільтрації його соку. Проаналізовано біологічну активність отриманого концентрату, збагаченого природними нітратами, глутаміновою кислотою та пігментами беталаїнами. Окреслені дослідження доповнюють бачення світових тенденцій у виробництві ферментованих функціональних напоїв та біодобавок, зокрема для наукового обґрунтування та розробки комплексних технологічних рішень щодо створення інноваційних функціональних напоїв і дієтичних добавок із вираженими пребіотичними властивостями. Досліджено процеси низькотемпературного фракціонування сировини методом ультрафільтрації для максимального збереження нативних беталаїнів, неорганічних нітратів та олігосахаридів без застосування жорсткої термічної пастеризації. Для забезпечення мікробіологічної безпеки готових рідких форм у критичних контрольних точках виробництва інтегровано нанотехнологічні підходи та модифікацію матеріалів біоцидними металевими наночастинками. Узагальнюючи науково-теоретичні та медико-біологічні аспекти участі мікроорганізмів і природних рослинних антиоксидантів, у дослідженні інтегровано підходи нанобіотехнологій для забезпечення мікробіологічної безпеки та чистоти готових форм, за ефективності використання бурякового концентрату для оптимізації мікробіома, підвищення кардіореспіраторної витривалості та системної профілактики в рамках концепції «Єдине здоров'я». Інтеграція результатів попередніх праць авторів у галузі фітодобавок і біоактивних фітоекстрактів у харчових біотехнологіях із публікаціями латвійських колег та

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

актуальними міжнародними дослідженнями щодо ультрафільтрації буряка доповнює концепцію ефективних методів виділення та створення біодобавок як чистої, стійкої органічної пребіотичної сировини. Підтверджено ефективність отриманого пребіотичного концентрату для стимулювання росту кишкової нормофлори та його функціональну цінність, а також екологічну безпеку технології виробництва. Впровадження концепції «Єдине здоров'я» в Україні безпосередньо залежить від здатності контролювати безпеку харчових ланцюгів на стику агротехнологій, харчування та медицини.

Ключові слова: дієтичні біодобавки, природний мікробіом кишківника, беталаїн,, фракціонований сік, оксид азоту, Єдине здоров'я.

UDC 663.8-035.67
https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2026.98

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL BEVERAGES AND DIETARY SUPPLEMENTS BASED ON TABLE BEET AS A NATURAL SOURCE OF PREBIOTICS

Andrii Pochynok
https://orcid.org/0009-0005-2771-3670
Medical Stream LLC, Ukraine
43587403, 51/2, Lviv Highway, Khmelnytskyi, Ukraine
Olena Vichko
PhD, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-5440-548X
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
46025, 56 Ruska Str., Ternopil, Ukraine
Olha Shved
PhD, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-6023-8067
Lviv Polytechnic National University
79013, 12, Bandery str., Lviv, Ukraine
Halyna Karpyk
PhD, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-5374-8368
Iryna Nazarko
PhD, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0001-6961-0091
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
46025, 56 Ruska Str., Ternopil, Ukraine

Abstract. Abstract. This work focuses on developing technological solutions to create functional beverages and dietary supplements with pronounced prebiotic properties, based on table beet (Beta vulgaris rubra). It presents findings from research on innovative dietary supplements derived from beet juice via molecular fractionation and ultrafiltration. The biological activity of the resulting concentrate – enriched with natural nitrates, glutamic acid, and betalain pigments – was analyzed. This research contributes to the understanding of global trends in the production of fermented functional beverages and dietary supplements, providing a scientific basis for developing comprehensive technological solutions for innovative products with significant prebiotic properties. The study investigates low-temperature fractionation of the raw material using ultrafiltration, a method that maximizes the preservation of native betalains, inorganic nitrates, and oligosaccharides without requiring harsh thermal pasteurization. To ensure the microbiological safety of the final liquid products, nanotechnological approaches – specifically the modification of materials with

biocidal metal nanoparticles – have been integrated at critical control points within the production process. Synthesizing scientific, theoretical, and biomedical aspects of the role of microorganisms and natural plant-based antioxidants, this study integrates nanobiotechnological approaches to ensure the microbiological safety and purity of finished products. It further demonstrates the efficacy of beetroot concentrate in optimizing the microbiome, enhancing cardiorespiratory endurance, and supporting systemic disease prevention within the framework of the "One Health" concept. Integrating the authors' previous work on phytosupplements and bioactive phytoextracts in food biotechnology-combined with research from Latvian colleagues and current international studies on the ultrafiltration of beetroot-enhances the proposed concept by introducing effective methods for isolating and developing dietary supplements derived from clean, sustainable, organic prebiotic raw materials. The resulting prebiotic concentrate has been shown to effectively stimulate the growth of beneficial gut microbiota; its functional value and the environmental safety of its production process have also been confirmed. The implementation of the "One Health" concept in Ukraine depends directly on the ability to ensure the safety of food supply chains at the intersection of agricultural technology, nutrition, and medicine.

Keywords: dietary supplements, gut microbiome, betalains, fractionated juice, nitrates, One Health

ВСТУП. Сучасний розвиток індустрії здорового харчування та дієтичних добавок в Україні тісно пов'язаний з концепцією використання екологічно чистої сировини та впровадженням засад органічного виробництва (Ohorodnyk et al., 2023). Використання як екологічної сировини буряка столового (*Beta vulgaris rubra*) посідає особливе місце серед фітосировини завдяки унікальному поєднанню беталаїнових пігментів, природних нітратів та розчинних олігосахаридів, що виявляють виражений пребіотичний потенціал (Babarykin et al., 2019).

Сучасне здорове харчування вимагає створення функціональних продуктів, які компенсують дефіцит біологічно активних речовин. Цінною сировиною для отримання таких сполук є буряк столовий. Він є не лише традиційною сировиною української кухні та одним із основних компонентів борщу, а й перспективним джерелом біологічно активних речовин: природніх нітратів, поліфенолів, беталаїнів, вітамінів та мінеральних речовин. Буряковий сік стимулює процеси детоксикації, покращує відтік жовчі, захищає клітини від пошкоджень та запобігає накопиченню жиру (Bianchi et al., 2021). Концентрований сік або висушений корінь буряка столового містять високу концентрацію розчинної клітковини, яка стимулює мікробіом кишківника, покращуючи його загальний стан, а тому може використовуватися як спеціалізований суперфуд чи дієтична добавка.

У народній медицині сік буряка столового широко використовують для лікування недокрів'я (анемії). У разі цукрового діабету першого типу, пов'язаного із нестачею інсуліну, лікування проводять введенням препаратів цього гормону. У випадку цукрового діабету другого типу лікування проводиться шляхом корекції дієти, застосування медикаментів та екстрактів лікарських трав і коренеплодів, що впливають на обмін глюкози (Willcox et al., 2021; Aliahmadi et al., 2021; Tyler et al., 2024).

Спільне українсько-латвійське дослідження біопродуктів на основі буряка столового вказує на високу біологічну цінність та безпечність фракціонованих біодобавок із буряка столового.

МЕТА РОБОТИ. Обґрунтувати перспективність використання столового буряка як чистої, стійкої органічної пребіотичної сировини.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. У харчовій промисловості буряк столовий використовують як функціональну добавку у вигляді соку, екстракту, пюре, порошку, концентрату, ферментованого напою у виробництві хлібобулочних виробів (Karpyk et al., 2021; Cui et al.,

2022), молочних продуктів, кондитерських виробів (Chhikara et al., 2019; Soutelino et al., 2023). Підвищується їх харчова цінність: збільшується антиоксидантна активність, активність інгібіторів АПФ, α-амілази та α-глюкозидази. Молочні вироби набувають привабливого червоно-фіолетового кольору без необхідності додавання штучних барвників.

Складність у виробництві дієтичних добавок – біологічно активних добавок (ДД-БАД)з буряка столового стосується збереження цих речовин та захисту лінії виробництва від контамінації (Kale et al., 2018; Punia Bangar et al., 2022). Як було показано у попередніх фундаментальних дослідженнях фітодобавок із біоактивними екстрактами у харчових біотехнологіях (Shved et al., 2025), рослинні матриці здатні не лише коригувати нутритивний статус, а й виступати дієвим інструментом превентивної нутриціології.

Продукти з буряка столового реалізуються на великих спеціалізованих маркетплейсах та в аптеках. Пребіотичні добавки та напої на основі концентрованого соку червоного буряка або висушеного кореня містять комплекс біологічно активних сполук, зокрема харчові волокна, а також беталаїни і природні нітрати, що можуть сприяти комплексному підтриманню функціонування травної системи та мікробіому кишківника. Завдяки цьому буряк столовий може використовуватися як функціональна харчова сировина, спеціалізований суперфуд або дієтична добавка (de Oliveira et al., 2021; Olalekan et al., 2024).

Пребіотичний порошок буряка столового та сублімовані екстракти (екстракт соку, капсули, таблетовані форми) використовують для підтримання здорового функціонування печінки, стимулювання процесу травлення та збереження кровоносних судин у належному стані. Покращення загального стану організму можливе за рахунок присутніх у цих продуктах пектинових олігосахаридів та беталаїнів (природних пігментів), вітамінів групи В, зокрема, В9 (фолатів), калію, природних нітратів, що комплексно підтримують травну й серцево-судинну системи та мікробіом. Ці речовини вибірково стимулюють ріст корисних пробіотичних бактерій, таких як *Bifidobacterium ma Lactobacillus*, та сприяють утворенню коротколанцюгових жирних кислот (SCFAs) для здоров'я кишківника.

Так, результати досліджень вчених (Xianting Li et al., 2025) свідчать про перспективність використання клітковини буряка столового як потенційного пребіотика, що сприяє нормалізації складу кишкової мікробіоти та стимулює її метаболічну активність. Цими науковцями доведено, що збільшується чисельність *Bifidobacterium, Parasutterella, Sutterella, Bifidobacterium longum subsp. longum і Lactobacillus salivarius* та одночасно зменшується відсоток *Escherichia-Shigella.* Тобто SBF сприяє росту корисних мікробних таксонів, посилює утворення коротколанцюгових жирних кислот та похідних індолу, а також змінює метаболізм жовчних кислот.

Корейські вчені Ko et al. (2024) проводили аналогічні дослідження щодо ефективності впливу порошку червоного буряка (RP) та пігменту бетаніну (BP) на унікальну мікробіоту кишківника людини залежно від ентеротипу. Ними проаналізувано ферментовані зразки калу 30 осіб, які були розподілені за трьома ентеротипами: *Phocaeicola, Prevotella ma Bifidobacterium*. Результати показали, що RP та BP по-різному впливали на склад мікробіоти та вироблення SCFAs залежно від ентеротипу. У кластері *Bifidobacterium* спостерігалося значне зниження α-різноманіття та підвищення рівня SCFAs, відбулися зміни в метаболічних шляхах крохмалю й сахарози та в процесах гліколізу/глюконеогенезу, що підкреслює важливість врахування ентеротипів у персоналізованому харчуванні.

Окремим викликом є забезпечення асептичності функціональних продуктів, їхньої мікробіологічної стабільності та тривалого зберігання без істотної втрати біологічно активних компонентів. Сучасні технологічні підходи передбачають не лише використання традиційних консервувальних систем, а й застосування активних пакувальних матеріалів та антимікробних покриттів, модифікованих наноматеріалами, зокрема наночастинками срібла, міді та оксидів металів (Oyewole et al., 2026). Забезпечує надання пролонгованих антимікробних властивостей й модифікація поверхонь обладнання (Adeyemi and Fawole, 2023; Pochynok et al., 2023).

Збереження нативної структури під час промислової переробки є складною інженерною задачею. Необхідність запобігти втратам термолабільних біологічно активних компонентів зумовлює інтерес до нетермічних та мембранних технологій. Мембранні процеси, зокрема мікрофільтрація, ультрафільтрація та нанофільтрація, застосовуються для освітлення, фракціонування, концентрування та очищення соків, напоїв і функціональних харчових інгредієнтів Sarbatly et al., 2023; Apaydın and Onsekizoğlu Bağcı, 2025). Під час переробки нативної сировини ключовою проблемою залишається збереження термолабільних компонентів та забезпечення тривалої асептичності готових форм без руйнівного термічного навантаження. Їх використання може забезпечувати ефективну переробку сировини з меншим термічним навантаженням, що є особливо актуальним для продуктів, багатих на термолабільні біоактивні сполуки (Prieto-Santiago et al., 2020; Soja and Nowak, 2026;).

Тому об'єднання підходів створення інноваційних функціональних напоїв із залученням сучасних мембранних методів та розробки пребіотичних продуктів з використанням передових технологій ультрафільтрації та нанобіотехнологічного захисту виробничого середовища є аналітично та технологічно важливим та додає роботі прикладного значення.

Сучасні тенденції розвитку біоіндустрії функціональних продуктів харчування та дієтичних добавок в Україні та країнах ЄС зосереджені на широкому використанні екологічно чистої фітосировини та впровадженні принципів сталого органічного виробництва, для якого Beta vulgaris rubra є унікальною матрицю з високим вмістом природних пребіотичних компонентів, потужних вазодилататорів та антиоксидантів (Al-Harbi et al., 2021). Попередні фундаментальні дослідження фітодобавок з біоактивними екстрактами в харчовій біотехнології підтверджують, що цілеспрямоване моделювання рослинних концентратів дозволяє ефективно коригувати харчовий статус людини та служить дієвим інструментом профілактичної медицини.

Однак, у процесі промислової переробки нативної сировини, головним викликом залишається збереження термолабільних сполук та запобігання деградації беталаїну. Традиційні методи термічної пастеризації значно знижують біологічну цінність кінцевого продукту, що зумовлює необхідність впровадження сучасних баромембранних технологій розділення (ультрафільтрації). Ще одним критичним аспектом є захист рідких функціональних форм від мікробного забруднення та утворення стійких бактеріальних біоплівок на технологічному обладнанні. Вирішення цієї проблеми полягає у поєднанні мембранних методів з передовими нанотехнологічними рішеннями, спрямованими на створення довготривалих біоцидних поверхонь (Pochynok et al., 2023; Elafify et al., 2024; Rudenko et al., 2025).

Компоненти буряка та їх фізіологічний вплив на організм людини. Буряк столовий (*Beta vulgaris subsp. vulgaris var. conditiva*, або часто *Beta vulgaris rubra*) є унікальною сировиною для багатьох галузей завдяки вираженому бордово-червоному кольору, високому вмісту унікального комплексу біологічно активних фітохімічних речовин (беталаїнів, поліфенолів, харчових волокон), має терапевтичний вплив при різних метаболічних розладах, комплексно підтримує моторику травної системи, мікробіом та нормальну функцію нирок, володіє високою антиоксидантною активністю, протизапальними, антимікробними та гепатопротекторними властивостями, впливає на мікроциркуляцію крові, включаючи артеріальний тиск і роботу судин, підтримує гомеостаз глюкози та інсуліну, покращує рівень глікованого гемоглобіну A1c (HbA1c) та впливає на рівень глікемії.

Глікемічний індекс (ГІ) буряка може змінюватись залежно від способу кулінарного оброблення. У Міжнародній таблиці глікемічного індексу та глікемічного навантаження для Beta vulgaris rubra наведено середнє значення ГІ 64 ± 16, при цьому глікемічне навантаження становить близько 4 для порції 80 г. В інших джерелах для Beta vulgaris rubra наведено нижче значення ГІ - близько 30, тоді як для вареного - близько 65 (Foodmiles, n.d.). [Glycemic-Index.net, LogiFoodCoach.]

Беталаїни – природні пігменти, антиоксиданти та протизапальні речовини (Martinez et al., 2024)**.** Бетаціаніни проявляють антиоксидантні властивості, потенційно сприяючи захисту слизової оболонки шлунка від окисного стресу, та разом з нітратами стимулюють моторику та кровообіг у шлунковому тракті, нормалізують кислотність **(**Sistani Karampour et al., 2019), беруть участь у виведені токсинів (Sadowska-Bartosz and Bartosz, 2021). Бетаніни, як потужні антиоксиданти, посилюють синтез ендогенного інсуліну при захисті бета-клітини підшлункової залози від окиснювального стресу, який супроводжує цукровий діабет (Abedimanesh et al., 2021), пригнічують проліферацію та прикріплення *Staphylococcus aureus* та *Pseudomonas aeruginosa*, гальмуючи утворення їхньої біоплівки (Yong et al., 2021).

В сухому екстракті буряка столового міститься червоного пігменту **-** 20,75 мг/г (пребетанін, бетанін, ізобетанін, необетанін) та бетаксантинів – 19,01 мг/г (жовтий пігмент – вульгаксантин**)** (Georgiev et al., 2010).

Бетанін є найпоширенішим пігментом у соці буряка столового(312,47 мг/100 г сухої ваги) (Slavov et al., 2013).

Екстракт коренеплоду буряку столового містить беталаїни (бетаціаніни та бетаксантини), флавоноїди, поліфеноли, сапоніни та є натуральним джерелом нітроген оксиду (NO) (Al-Harbi et al., 2021; Sadowska-Bartosz and Bartosz, 2021; Milton-Laskibar et al., 2021; Punia Bangar et al., 2022).

Пектини та клітковина. Основні пребіотичні компоненти, які не перетравлюються в шлунку, але є живильним середовищем для кишкових бактерій. Біодобавки з клітковиною важливі для покращення травлення та перистальтики кишківника (del Amo-Mateos et al., 2024).

Антиоксиданти. Поліфеноли та флавоноїди. Вітаміни групи В. Залізо. Сполуки здатні частково блокувати ферменти травлення (наприклад, α-глюкозидазу), що сповільнюють розщеплення складних вуглеводів та всмоктування глюкози у кишківнику, запобігаючи різким стрибкам глікемії. Сприяють зменшенню маркерів запалення внутрішньоклітинні ферменти (амінотрансферази), які містяться переважно в клітинах печінки, серця та м'язів (таких як ферменти аланінамінотрансфераза ALT та аспартатамінотрансфераза AST) (Al-Harbi et al., 2021; Punia Bangar et al., 2022; Alarkwazi Khalil Raghad et al., 2026).

Дієтичні нітрати. Під час розщеплення відновлюються в організмі на нітроген оксид, який сприяє розширенню судин, покращує кровообіг, підвищує витривалість і підтримує роботу мозку, покращує мікроциркуляцію та посилює доставку глюкози до м'язових клітин, що безпосередньо знижує рівень цукру в крові та допомагає знижувати артеріальний тиск (Milton-Laskibar et al., 2021).

На основі коренеплодів та їхнього соку розробляють різні форми добавок, зокрема екстракти, порошки, таблетки (Clifford et al., 2015; Ceclu and Nistor, 2020; Flores-Mancha et al., 2020).

Форми випуску добавок з буряка столового:

– *рідкий екстракт (концентратні кристали)*: має найвищу швидкість всмоктування та максимальний пребіотичний індекс *in vitro*, проте вимагає суворого дотримання асептичних умов і наноструктурного захисту обладнання, для запобігання мікробіологічному псуванню (Babarykin et al., 2018; Wiczkowski et al., 2018; Flores-Mancha et al., 2020);

– *ліофілізований порошок (пудра):* є перспективною формою збереження беталаїнових пігментів, оскільки низькотемпературне вакуумне сушіння сприяє збереженню біоактивних сполук й підвищенню стабільності продукту під час зберігання, особливо за використання захисних покриттів або інкапсулювальних речовин з використанням носіїв типу мальтодекстрину чи гуміарабіку методом розпилювального або ліофільного сушіння (Kamel et al., 2024; Postružnik et al., 2024). Має високу гігроскопічність, що потребує герметичного пакування. Ідеальний напівфабрикат для створення функціональних напоїв типу "instants" (швидкого розчинення). Виготовляється із сушеного кореня або вимороженого соку. Це

найбільш популярний формат, його зручно додавати у смузі, йогурти або каші (Bochnak-Niedźwiecka et al., 2020);
– *таблетована форма (капсули або таблетки*): забезпечує точність дозування біоактивних нітратів та зручність застосування; має подовжений час розпадання таблетки у шлунково-кишковому тракті сприяє поступовому та пролонгованому вивільненню олігосахаридів та його пребіотичному впливу на дистальні відділи кишківника (Babarykin et al., 2019; Falsafi et al., 2022; Vaccaro et al., 2024;). Препарат з буряка столового у формі таблеток є преміальним та високоефективним компонентом для функціонального харчування, але його випуск можливий лише на високотехнологічних підприємствах із фармацевтичним рівнем контролю якості (GMP/ISO).

Продукція на основі буряка столового. Її випускають як відомі зарубіжні, так і вітчизняні виробники дієтичних добавок і рослинних екстрактів (Табл.1).

Таблиця 1. Основні напрямки, продукти та індустрії, що базуються на основі буряка столового

Харчова промисловість та натуральні барвники	**Фармацевтика та дієтичні добавки**	**Космецевтика та доглядова косметика**	**Функціональне та лікувальне харчування**
Барвник Е162 (Буряковий червоний): концентрований сік або порошок буряка використовується як безпечний натуральний колорант. Його додають у йогурти, морозиво, кондитерські вироби, соуси та ковбаси.	**Спортивне харчування:** екстракти буряка є популярними донаторами азоту (завдяки високому вмісту природних нітратів). Вони розширюють судини, покращують кровообіг і підвищують витривалість спортсменів	**Антивікові засоби:** креми та сироватки з екстрактом буряка захищають шкіру від оксидативного стресу та передчасного старіння.	**Продукти для профілактики анемії:** через високий вміст заліза та фолієвої кислоти у легкозасвоюваній формі.
Сублімовані та сушені продукти: бурякові чипси, порошок для швидкого приготування страв (супів, борщів), а також компоненти для сухих сніданків (мюслі).	**Кардіопротекторні препарати:** добавки для зниження артеріального тиску та зміцнення стінок капілярів (завдяки бетаїну та антиоксидантам).	**Засоби для губ та щік:** тінти, бальзами та рум'яна, де буряковий пігмент виступає безпечною альтернативою синтетичним фарбам.	**Пребіотики:** харчові волокна (клітковина та пектини) буряка використовуються для створення продуктів, що нормалізують мікрофлору кишківника.
Напої: квас (ферментований буряковий напій), нектари, смузі, а також крафтове пиво та сидри з додаванням бурякового соку для кольору та специфічного присмаку.	**Гепатопротектори:** засоби для підтримки функцій печінки та стимуляції детоксикації	**Зволожувальні лінійки:** завдяки високому вмісту сахаридів та амінокислот, екстракт допомагає утримувати вологу в епідермісі.	

Американські фірми з виготовлення дієтичних добавок пропонують концентрат буряка столового в капсулах із додаванням супутніх рослинних компонентів та порошок з органічного буряка преміальної якості, з сушеного кореня або вимороженого соку, для додавання у кисломолочні продукти або каші. Європейські виробники реалізують бюджетні дієтичні добавки з буряка столового у формі таблеток (Польща), спеціалізовані

функціональні продукти на основі фракцій соку буряка столового (Інститут інноваційних біомедичних технологій (Латвія) (Babarykin et al., 2022). Вітчизняні фірми та фітолабораторії також створюють сухі пресовані таблетки та порошки з висушеного буряка для нормалізації травлення та тиску. Розробляються нові методи переробки буряка столового для модифікації його функціональних властивостей. (Babarykin et al., 2018).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. *Сировина*: столовий буряк *Beta vulgaris rubrum*, вирощений у контрольованих умовах (Україна/Латвія).

Технологія фракціонування: застосовано метод низькотемпературного пресування (*cold-pressed*) та подальшої мембранної ультрафільтрації за молекулярною масою, розроблений латвійською стороною. Це дозволило видалити зайві цукри та сконцентрувати активні речовини.

Аналітичні методи: вміст бетаїну та глутамінової кислоти визначався методом високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ). Вміст нітратів контролювався іонометрично.

Клініко-фізіологічні тести: Проведено оцінку фізичної працездатності та кардіореспіраторних показників на базі науково-дослідних лабораторій в Україні та Латвії (тести на велоергометрах із газоаналізом *Vyntus CPX*).

Екстракція та розділення: підготовку сировини проводили методом холодного віджиму з наступним очищенням. При класичному холодному віджимі екстрагент не використовується – виділяється нативний клітинний сік сировини. Якщо сировина суха і потребує попереднього замочування, як екстрагент використовується дистильована або демінералізована вода. Для концентрування цільових фракцій та відокремлення високомолекулярних баластних речовин і сахарози застосовано метод ультрафільтрації на мембранних установках. Органічні розчинники (спирти тощо) для ультрафільтрації напівпроникних мембран намагаються не застосовувати, щоб не пошкодити полімерний матеріал мембрани. Детально метод описаний у фундаментальних роботах латвійських колег наукової групи під керівництвом проф. Д. Бабарикіна. (Babarykin et al., 2018). Екстракцію цільових пребіотичних фракцій із буряка столового здійснювали із застосуванням баромембранних процесів, а для видалення високомолекулярних баластних речовин і надлишку вільних цукрів було інтегровано метод низькотемпературної ультрафільтрації на напівпромислових мембранних установках. Температурний діапазон екстракції становить 4–25 °C (ефективно 15–20 °C - «холодний» режим) для збереження термолабільних речовин та запобіганю денатурації цільових білків, ферментів чи руйнуванню вітамінів. Підвищення температури знизило б в'язкість і прискорило фільтрацію, але для біологічно активних речовин критично не допустимим є нагрів вище 25–40 °C. Робочий цикл однієї завантажки триває від 30 хвилин до 2–4 годин, що необхідно для збереження фактора концентрування при ультрафільтрації при зменшені в 3–5 разів об'єму ретентату з високомолекулярними баластними речовинами та цільовими фракціями залишалися (у ретентаті). Робочий трансмембранний тиск) становить 0.1–0.5 МПа (1–5 бар), так як вищий тиск може призвести до ущільнення осаду на мембрані, тобто щоб сахароза і вода проходили крізь пори у пермеат.

Модифікування матеріалів здійснювали із застосуванням методів мембранного розділення (ультрафільтрації), а для забезпечення асептики проводили наноструктурне модифікування обладнання та фільтрів частинками Ag і Cu за методиками Починок А. М. та співавторів (Rudenko et al., 2025). Для оцінки стійкості до біоплівкоутворення на модифікованих поверхнях застосовували методи контролю деструкції мікробних конгломератів, раніше апробовані у роботах з ензимної деконтамінації (Shynkaruk et al., 2018).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Одним із найбільш значущих досягнень у розширенні способів переробки коренеплодів буряка столового є розробка методу

фракціонування соку за молекулярною вагою з метою отримання продуктів із новими властивостями та дослідження їх впливу на вуглеводний обмін, а саме на рівень глюкози в організмі. Як відомо, методи, які можуть знизити глікемічний індекс продукту, такі: інгібування α-амілази слини; інгібування α-амілази підшлункової залози; інгібування α-глюкозидази; інгібування транспортером вуглеводів SGLT1 (натрій-глюкозний котранспортер 1-го типу) або використання рослин з високим вмістом розчинних в'язких харчових волокон.

Антимікробний бар'єрний захист та безпека. Беручи до уваги критичну важливість мікробіологічної безпеки у виробництві дієтичних добавок, технологічні вузли та фільтрувальні елементи лінії розливу піддавали превентивній наноструктурній модифікації. Для запобігання вторинному мікробному контамінуванню під час фільтрації та фасування було враховано досвід створення біоцидних поверхонь шляхом наноструктурного модифікування.

Під час підготовки допоміжних матеріалів харчового і медико-біологічного призначення, для надання пролонгованих антибактеріальних та антивірусних властивостей, користувались верифікованими методиками нанесення наночастинок срібла (Ag) та міді (Cu) на полімерні та трикотажні матриці.

Полімерні мембранні матриці та допоміжні текстильні матеріали піддавали хімічному наноструктуруванню для надання їм тривалих антибактеріальних та противірусних властивостей. Стійкість модифікованих матеріалів до утворення бактеріальних асоціацій та контроль руйнування мікробних конгломератів оцінювали за допомогою верифікованих ферментативних та мікробіологічних тест-систем.

Використання цих методів надає можливість гарантувати антибактеріальний та антивірусний захист на критичних точках контролю (HACCP) виробничої лінії функціональних напоїв.

Біодоступність та метаболізм. Огляд експериментальних даних спільного українсько-латвійського вивчення метаболізму компонентів *Beta vulgaris* свідчить про високу біодоступність фракціонованих форм, що є важливим для оцінки ефективності видалення низькомолекулярних цукрів і концентрування беталаїнів. Встановлено, що перетворення неорганічних нітратів (NO_3^-) бурякового екстракту в нітроген оксид починається безпосередньо у ротовій порожнині під дією факультативно-анаеробних бактерій, що підтверджує системний зв'язок мікробіома та судинного тонусу людини. Клініко-лабораторні тести показали, що споживання розроблених добавок призводить до зростання концентрації нітритів у плазмі крові через 1,5-2 години з піком активності вазодилатації через 3 години. Крім того, наявність бетаїну та глутамінової кислоти забезпечує виражений гепатопротекторний та антиамнезійний ефекти, стимулюючи клітинне відновлення.

Буряк столовий – потужний природний засіб, який ефективно доповнює лікування за рекомендаціями народної медицини та при дієтичному харчуванні, так як містить бетаїн, вітаміни групи В, залізо та антиоксиданти, а тому може позитивно впливати на стан при проблемах зі здоров'ям, проте має протипоказання, особливо при самолікуванні, і потребує консультацій з дієтологом та терапевтом.

Добавки з екстрактом буряка столового містять беталаїни з антиоксидантними та протизапальними властивостями (група натуральних рослинних пігментів, які надають буряку його насичений темно-бордовий колір), які за класичним показником для якісних комерційних екстрактів у високій концентрації стандартизовані до 0,3 % бетаніну (головний і найбільш вивчений представник групи беталаїнів, зокрема, підгрупи бетаціанінів), як маркера якості.

Екстракт буряка столового в саше забезпечує стандартизоване дозування беталаїну. Червоний колір надає продукту природний бетаціанін (безпечна реакція на пігмент бетанін - бетатурія: екскременти можуть набути червонуватого відтінку; пігменти зазвичай

розкладаються завдяки шлунковій кислоті та ферментам у кишківнику, але у 10-15 % людей організм не повністю їх розщеплює).

Слід відмітити напої BetaVUSAN і BetaHEP як засоби для підвищення рівня гемоглобіну і витривалості організму при фізичних навантаженнях, оптимізації жирового обміну, очищення печінки від надлишку жирів при її ожирінні (стеатозі) та ін. Зокрема, екстракт буряка столового у щурів з експериментальним цукровим діабетом посилює синтез інсуліну, знижує підвищену резистентність до гормону та виявляє гіпоглікемічну дію. Екстракт червоного буряка демонструє виражені гіпоглікемічні та інсулінотропні властивості через вплив компонентів бурякового соку на обмін вуглеводів і зниження резистентності до інсуліну, що базується на кількох взаємопов'язаних біохімічних механізмах (Babarykin, et al., 2019; Al-Harbi et al.; 2021 Babarykin et al., 2022).

Ці факти мотивували проведення спеціального ретроспективного дослідження з оцінки гіпоглікемічної дії фракціонованого бурякового соку (BetaVUSAN). Волонтери з цукровим діабетом другого ступеня отримували напій з буряків як антианемічний засіб та стимулятор працездатності. Слід відмітити, що незважаючи на вміст у «звичайному» і фракціонованому буряковому соці 5-6 % цукру, діабет не є протипоказанням до застосування BetaVUSAN. Встановлено, що у 42 % споживачів BetaVUSAN із цукровим діабетом другого ступеня на тлі стандартної медикаментозної терапії ЦД рівень глюкози в крові знижувався в середньому на 34 %.

Найбільш виражений гіпоглікемічний ефект відзначений у пацієнта з початковим рівнем глюкози у крові у 14 од. та наступним падінням до 5 од. Загалом гіпоглікемічна дія напою з буряка краще проявляється в осіб з надмірною вагою. При цьому спостерігаються зміни і в ліпідному (жировому) обміні: зниження рівня тригліцеридів крові, оптимізація співвідношення ліпопротеїдів високої та низької щільності (тобто "хорошого" і "поганого" холестерину), зниження надлишкового вмісту жиру в клітинах печінки при стеатозі. Слід зазначити, що механізм гіпоглікемічної дії бурякового соку та його похідних вимагає подальшого вивчення (гіпоглікемічний ефект звичайного бурякового соку проявляється при дозі 200-300 мл, а такий ефект за допомогою BetaVUSAN досягається дозою 50 мл (Babarykin, et al., 2019).

На основі проведеного аналізу запропоновано конкретні кроки для покращення системи моніторингу, що дозволить знизити рівень аліментарних ризиків для населення.

Ефект синергії: пребіотичний ефект екстракту плюс антибактеріальний захист наночастинок створюють потужний комплексний захист, який багатий на полісахариди (наприклад, інулін) та беталаїни і одночасно пригнічує патогенну мікрофлору та стимулює ріст корисних бактерій лакто- та біфідобактерій (Weinstock et al., 2016).

Завдяки впровадженню антимікробних бар'єрних технологій, що базуються на модифікації матеріалів наночастинками металів, вдалося досягти зниження титру патогенної та умовно-патогенної мікрофлори у готовому напої без застосування жорсткої пастеризації. Поєднання мембранного розділення бурякового соку та антимікробного захисту наноструктурованих бар'єрів дозволило отримати стабільну рідку форму ДД-БАД. Отриманий продукт відповідав високим критеріям безпечності, що є критичним для сучасного ринку органічної продукції України (Ohorodnyk et al., 2023).

Впровадження розробленого пребіотичного напою *in vitro* продемонструвало високу біохімічну синергію:

Біохімічний аналіз показав, що фракціонований буряковий концентрат містить на 67,2 % більше глутамінової кислоти порівняно з нативним соком, а також стабільну концентрацію біоактивних беталаїнів.

Високий пребіотичний індекс продемонстрували дослідження *in vitro* отриманої харчової добавки при додаванні концентрату до поживних середовищ, що інтенсифікувало ріст та метаболічну активність штамів *Lactobacillus acidophilus* та *Bifidobacterium bifidum*. Це добре узгоджується із закономірностями функціонування фітобіотичного комплексу,

описаними в попередніх роботах та з механізмами дії фітодобавок, дослідженими у працях (Kukhtyn et al., 2018; Vichko et al., 2024). Отримані продукти чинять виражений пребіотичний ефект, стимулюючи ріст корисної лакто- та біфідофлори *in vitro*, а також оптимізують метаболізм нітроген оксиду, що підтверджує високу функціональну цінність.

Асептична стабільність проявляється завдяки модифікації поверхонь наночастинками срібла й міді – загальне мікробне число (ЗМЧ) у пермеаті залишалося в межах норми без використання пастеризації. Це дозволило повністю зберегти пребіотичну активність олігосахаридів та вазодилатуючі властивості нітратів буряка.

Завдяки *інтеграції наноструктурованих фільтруючих елементів*, модифікованих наночастинками срібла та міді, на етапі тонкого очищення напоїв було досягнуто стабільного зниження *загальної життєздатної кількості* (ЗЖК) до нормативних значень без використання жорстких температурних режимів. Це повністю усунуло ризик утворення мікробної біоплівки в зонах накопичення пермеату та зберегло пребіотичну активність продукту.

Використання ультрафільтраційних мембран із порогом затримки молекулярної маси (MWCO) забезпечило вихід цільових пребіотичних компонентів (у 2,3 рази вище порівняно з неочищеним соком). Концентрат продемонстрував стійкість до розпаду беталаїнових пігментів протягом усього терміну спостереження.

Впровадження *технології низькотемпературної ультрафільтрації* бурякового соку забезпечило ефективне відділення сахарози з одночасним концентруванням біоактивних олігосахаридів та беталаїнів (вихід цільових фракцій збільшився у 2,1–2,4 рази порівняно із сировиною).

Огляд експериментальних даних спільного українсько-латвійського дослідження метаболізму компонента *Beta vulgaris* вказує на високу *біодоступність фракціонованих форм.* Було встановлено, що перетворення неорганічних нітратів (NO_3^-) з екстракту буряка на нітроген оксид відбувається безпосередньо в ротовій порожнині під впливом факультативно-анаеробних бактерій, що підтверджує системний зв'язок між мікробіомом і тонусом судин людини. Клінічні та лабораторні випробування показали, що споживання розроблених добавок призводить до підвищення концентрації нітритів у плазмі крові через 1,5–2 години, з піком вазодилатаційної активності через 3 години. Крім того, присутність бетаїну та глутамінової кислоти забезпечує виражений гепатопротекторний та антиамнестичний ефект, стимулюючи клітинне відновлення.

Основні вектори терапевтичної дії:

Ергогенний ефект та витривалість: введення добавки (у дозуванні еквівалентному 300–600 мг нітратів) за 2–3 години до навантаження знижує потребу організму в кисні під час виконання фізичних вправ і покращує показник витривалості (~3 %) за рахунок оптимізації мітохондріального дихання.

Кардіопротекція: зафіксовано м'яке зниження систолічного артеріального тиску (на 4-5 мм рт.ст.) завдяки системній вазодилатації, що робить добавку перспективною у превентивній кардіології та нутритивній підтримці пацієнтів із початковою артеріальною гіпертензією.

Антианемічна дія та капілярний кровотік: молекулярні фракції буряка стимулюють дуоденальну абсорбцію заліза, що є критично важливим для профілактики залізодефіцитних станів.

Аспект «Єдиного здоров'я»: використання натурального рослинного екстракту як альтернативи синтетичним превокаутам знижує фармакологічний слід у стічних водах. Крім того, макуха, що залишається після екстракції соку, є цінною біоактивною добавкою до кормів у тваринництві (зациклена економіка).

Технологія фракціонування сировини баромембранного розділення. Проведення екстракції цільових пробіотичних фракцій з буряка столового забезпечило вихід неденатурованого пребіотичного концентрату на оригінальних методах розділення та

фракціонування рослинних соків з використанням мембран з оптимізованим молекулярно-масовим відсіканням (MWCO), що дозволило отримати пермеат зі стабільним вмістом нітратів без термічного руйнування компонентів. Це дозволило отримати стабільний за вмістом нітратів та бетаїну пермеат без термічної деструкції компонентів.

Одержання та стандартизація форм ДД-БАД з буряка столового.

Для промислової переробки столового буряка його технологічна та переробна цінність визначається високим вмістом бетаїну (бетаніну) та потужними антиоксидантними властивостями. Ці показники критично залежать від температурних режимів та pH середовища під час виробництва.

Були досліджені три технологічні форми біодобавки: ліофілізований порошок та пресовані таблетки (або капсули) – як зручний варіант для тих, хто не любить специфічний смак буряка; концентровані кристали та рідкі екстракти – зручні для приготування напоїв; рідкий ультрафільтраційний концентрат

Порошок виготовляли шляхом низькотемпературного сублімаційного (ліофільного) висушування очищеного пермеату, що дозволило повністю уникнути термічної деградації беталаїнів. Таблетовану форму отримували методом прямого пресування ліофілізованого порошку з додаванням мінімальної кількості зв'язуючих речовин харчового походження (мікрокристалічна целюлоза, магнію стеарат) для забезпечення заданої міцності та швидкості розпадання таблетки у шлунку. Ультрафільтраційний Концентрат одержували за описаною вище баромембранною технологією.

Для скринінгу рослинних соків та екстрактів було підготовлено колекцію зразків для ультрафільтрації за заданих параметрів. Рослини для скринінгу були обрані за певними критеріями: рослина широко доступна та не токсична. Було виготовлено 25 основних рослинних екстрактів й соків та виготовлено 72 унікальних зразки за допомогою ультрафільтрації з використанням таких мембран: 30000, 1000 та 200 Да (Babarykin et al. 2018; Babarykin et al., 2019).

Бетанін (основний пігмент): максимально стабільний при pH 4.0 – 5.0. При температурі понад 70°C починається його стрімка деградація (знебарвлення). Антиоксидантна активність (АОА): корелює із вмістом фенольних сполук. Короткочасний ефект нагрівання (бланшування) може підвищити вихід антиоксидантів за рахунок руйнування клітинних стінок, але тривала термообробка знижує її на 30–50%.

Ультрафільтрацію можна використовувати для значного посилення здатності рослинних екстрактів пригнічувати активність травних ферментів. Збільшення концентрації певних речовин у рослинних соках або екстрактах за допомогою ультрафільтрації призводить до пригнічення активності панкреатичної α-амілази; активності α-глюкозидази; загального вмісту фенолів; активності α-амілази слини; термостабільності інгібіторів α-амілази; термостабільності інгібіторів α-глюкозидази; стабільності інгібіторів α-амілази в кислому середовищі та шлунковій рідині.

Отриманий функціональний продукт має високий рівнь екологічної безпеки та повністю відповідає сучасним вимогам до чистих органічних продуктів на ринку України.

***Порівняльна характеристика форм біодобавки (*ДД/БАД*) на основі буряка.*v** Порівняльний аналіз фізико-хімічної та мікробіологічної стабільності різних форм добавок виявив такі закономірності (табл. 2).

Таблиця 2. Порівняльний аналіз фізико-хімічної та мікробіологічної стабільності різних форм добавок

Форма добавки	**Фізико-хімічні властивості та стабільність**	**Мікробіологічна стабільність та захист**	**Технологічні особливості та застосування**

Рідкий екстракт (концентрат)	Найвища швидкість абсорбції Максимальний пребіотичний індекс *in vitro*	Потребує суворого дотримання асептичних умов Використання антибактеріальних фільтрів або текстилю з наноструктурним захистом при ультрафільтрації соку Нанотехнології захисту запобігають мікробному псуванню	Вимагає забезпечення високої мікробіологічної безпеки обладнання
Ліофілізований порошок	Найвища стабільність пігментів беталаїну (збереження до 96,4% сполук протягом 12 місяців) Висока гігроскопічність	Стабільний за умови правильного зберігання	Вимагає обов'язкового герметичного пакування Ідеальний напівфабрикат для швидкорозчинних функціональних напоїв
Таблетована форма	Забезпечує точне дозування біоактивних нітратів Подовжений час розпаду в шлунково-кишковому тракті	• Стабільна тверда форма з низьким ризиком мікробного псування	Сприяє поступовому та тривалому вивільненню олігосахаридів Подовжує пребіотичну дію на дистальні відділи кишківника Зручна у використанні

Розроблення оптимізованих технологічних карт виробництва. Розроблена технологічна схема виробництва бурякового соку (прямого віджиму/концентрованого) для максимального вилучення рідкої фракції із збереженням нативного кольору. Для гарячих розчинів, схильних до кристалізації, застосовують гарячу фільтрацію при звичайному тиску з використанням підігрітих воронок, уникаючи вакууму. Для в'язких середовищ підвищують температуру, щоб знизити в'язкість і за потреби використовують механічний тиск (фільтр-преси) (рис.1).

На основі розробленої технологічної схеми обґрунтовано основні технологічні параметри виробництва бурякового соку, спрямовані на підвищення ефективності вилучення рідкої фракції, мінімізацію втрат біологічно активних речовин та забезпечення стабільності якісних характеристик готового продукту. Особливу увагу приділено оптимізації температурних режимів, тривалості технологічних операцій, ступеня подрібнення сировини, умов пресування та фільтрування, що безпосередньо впливають на вихід соку, його фізико-хімічні властивості та інтенсивність забарвлення. Розроблення оптимізованих технологічних карт передбачає встановлення раціональної послідовності виробничих операцій, визначення контрольованих параметрів процесу та формування рекомендацій щодо їх регулювання залежно від властивостей вихідної сировини. Реалізація запропонованих технологічних рішень створює передумови для підвищення ресурсоефективності виробництва, зменшення енергетичних витрат і забезпечення максимально можливого збереження природних пігментів, зокрема беталаїнів, у складі бурякового соку.

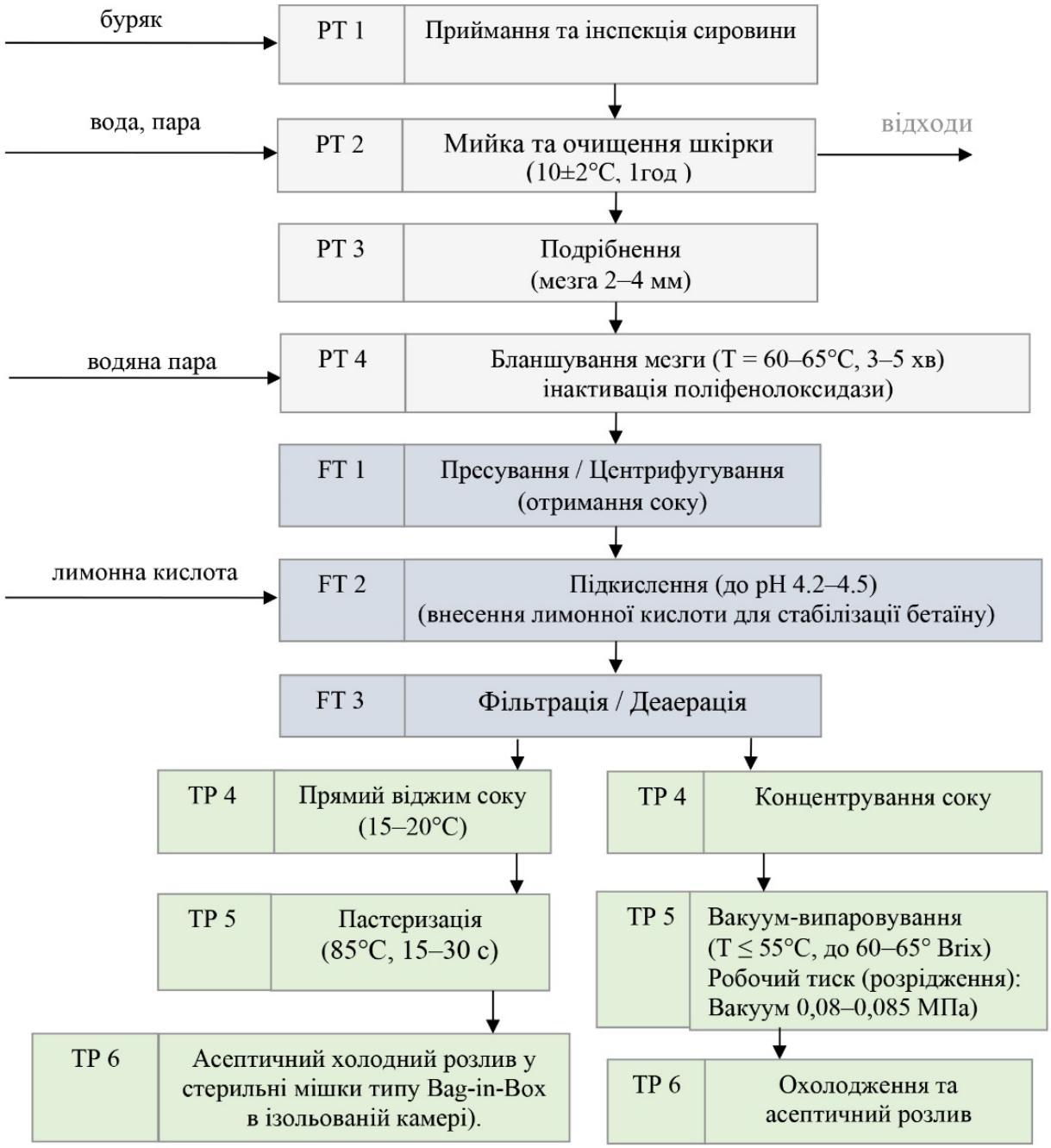


Рисунок 1. Технологічна схема виробництва бурякового соку (прямого віджиму / концентрованого)

Розроблення технологічної схеми виробництва екстракту буряка (сухого/рідкого барвника) для максимальної концентрації бетаїну та очищення від цукрів і білків. Використання водноспиртового екстракту передбачає сепарацію та ультрафільтрацію. Фільтрувати леткі органічні розчинники або гарячі насичені розчини під вакуумом не рекомендується,так як при зниженні тиску леткі речовини миттєво закипають, а гарячі розчини охолоджуються через випаровування і кристалізуються прямо на фільтрі. (рис.2).

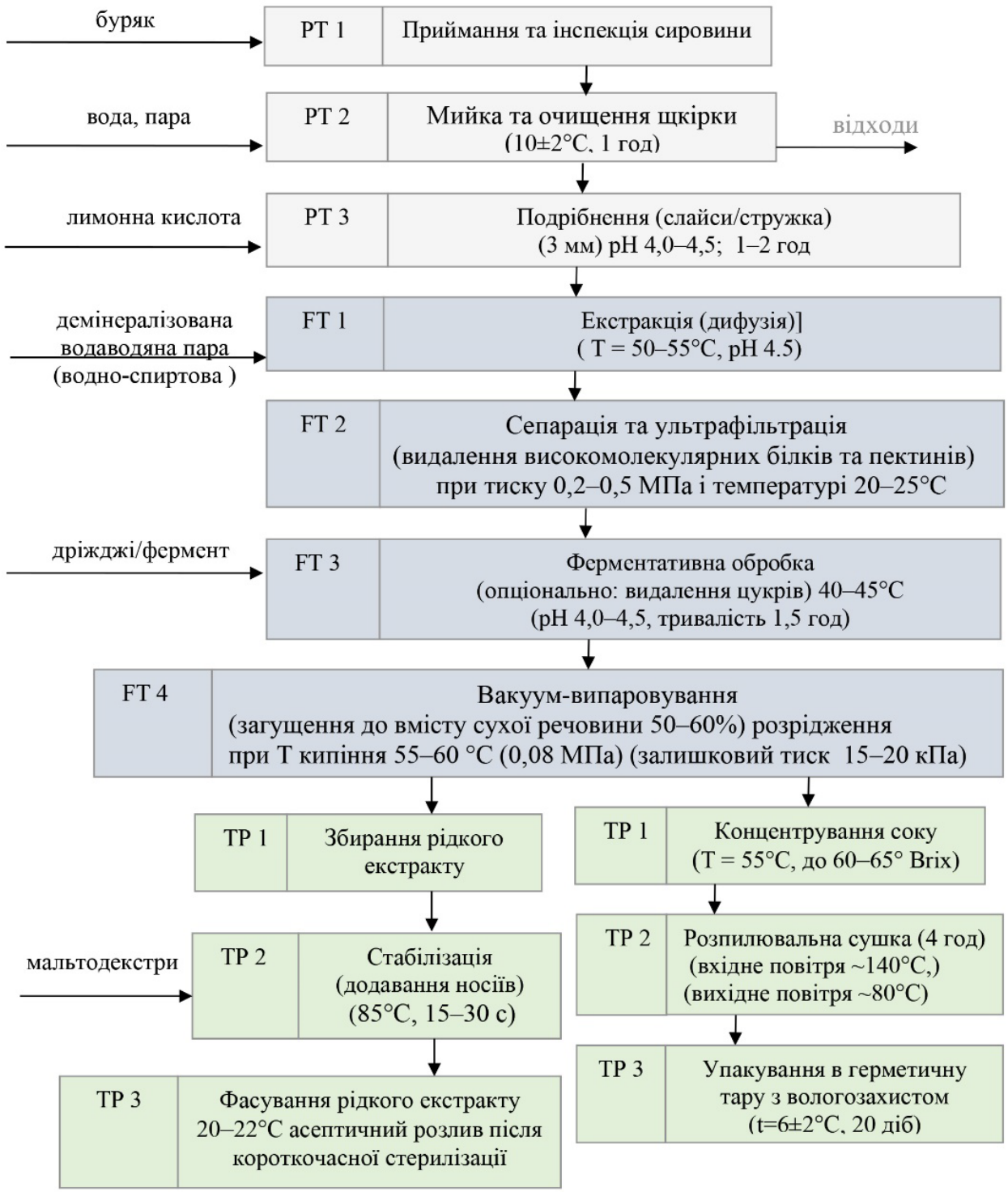


Рисунок 2. Технологічна схема виробництва екстракту буряка (сухого / рідкого барвника)

Розроблення технологічної схеми виробництва сушеного буряка (кубики, порошок) для зниження активності води ($w < 0.3$) для тривалого зберігання без консервантів. Для швидкого збору осаду з водних розчинів за кімнатної температури рекомендується оптимально використовувати вакуумну фільтрацію.

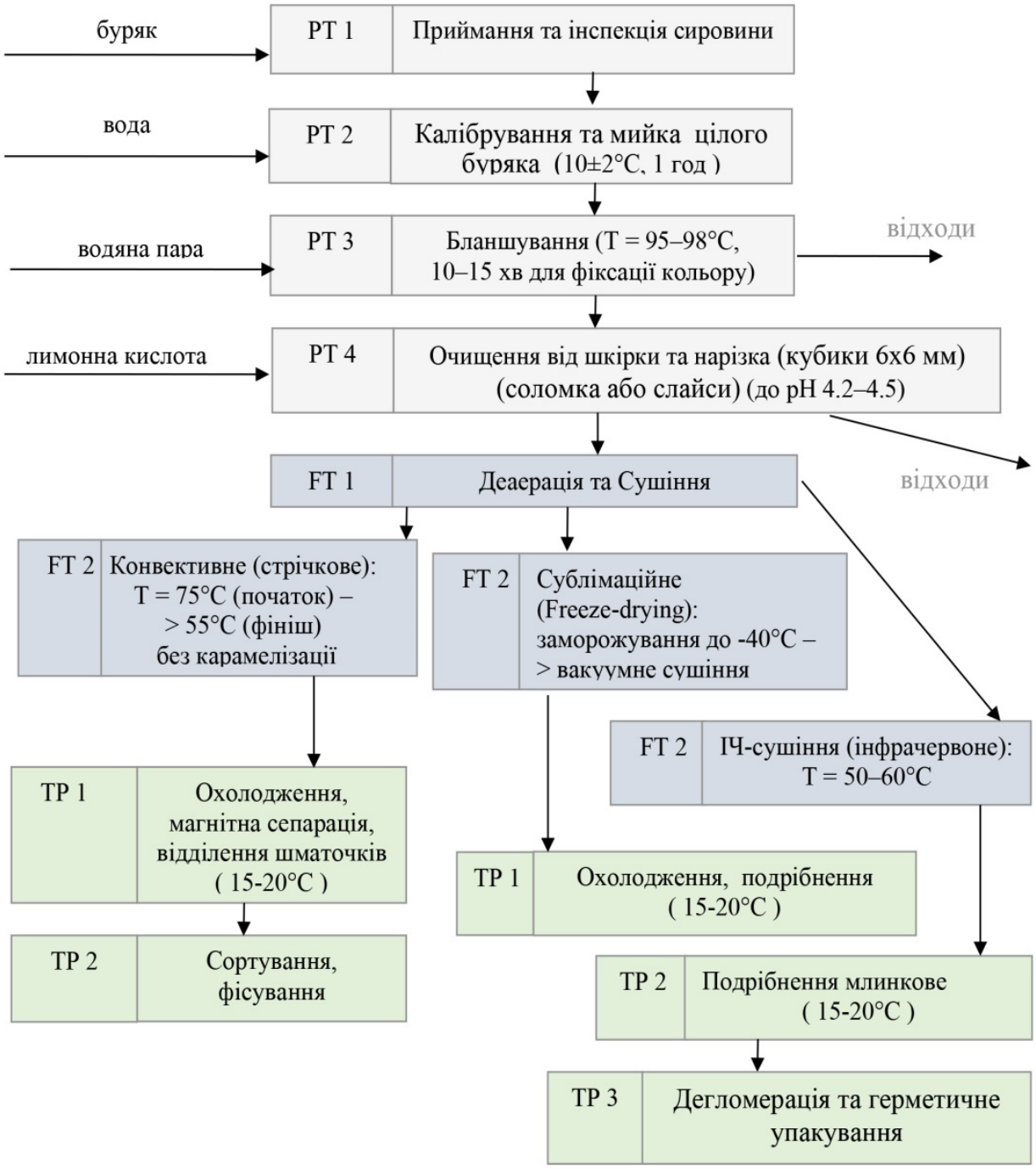


Рисунок 3. Технологічна схема виробництва сушеного буряка для зниження активності води (w < 0.3) для тривалого зберігання без консервантів

При переробці сировини на різні форми добавок слід дотримуватися технологічних рекомендації для виробництва. А саме, для суттєвого уповільнення окиснення бетаїну киснем повітря використовувати лимонну або аскорбінову кислоту на етапах подрібнення/екстракції при зниженні pH до 4.5 . Видалення кисню (деаерація) із соку або екстракту перед термічною обробкою мінімізує термічну деградацію пігментів. Сепарація проводиться на центрифугах або декантерах для видалення грубодисперсного бурякового жому від рідкої фракції соку. Для екстракції та підготовки соків використовувати демінералізовану воду (катіони заліза (Fe3+) та міді\(Cu2+) каталізують руйнування бетаїну) Максимально стабільний при pH 4.0 – 5.0. При температурі понад 70°C починається стрімка деградація (знебарвлення) бетаніну (основного пігменту). Короткочасний ефект нагрівання

(бланшування) може підвищити вихід антиоксидантів за рахунок руйнування клітинних стінок, але тривала термообробка знижує її на 30–50%. (табл. 3).

Таблиця 3. Порівняльна таблиця методів переробки

Параметр	Сік прямого віджиму	Сухий екстракт	Сушений буряк (конвективний)	Сушений буряк (сублімований)
Збереження бетаїну	Високе (85–90%)	Середнє-високе (75–85%)	Середнє (50–65%)	Оптимальне (95%+)
Збереження антиоксидантів	Високе	Високе (сконцентроване)	Помірне (втрата термолабільних)	Максимальне
Основний ризик	Швидке скисання / бродіння	Гігроскопічність порошку	Темніння (меланоїдино утворення)	Висока собівартість процесу
Термін придатності	До 1 року (в асептиці)	2–3 роки (в сухому місці)	1–2 роки	3–5 років

Висновки. Отримані дані біобезпечності та безпечності відкривають широкі перспективи для використання препарату в спортивній нутриціології, геронтології (профілактика вікової саркопенії та когнітивних порушень) та загальній терапевтичній практиці.

Розроблено оптимізовану технологію виготовлення функціональних напоїв на основі буряка столового із застосуванням ультрафільтрації на основі попередньо науково обґрунтованих технологічних параметрів виробництва пребіотичних функціональних напоїв та дієтичних добавок з червоного буряка на основі поєднання процесів баромембранної ультрафільтрації та нанобіотехнологічного захисту з використання фільтрувальних матеріалів, модифікованих наночастинками Ag та Cu, забезпечує надійний антимікробний бар'єр, запобігає утворенню біоплівки та дозволяє виключити стадію високотемпературної пастеризації при створенні біодобавок різної форми, що доведено у попередніх роботах.

Створені ДД-БАД на основі буряка столового (*Beta vulgaris rubra*) відповідають всім критеріям безпеки та ефективності, задекларованим концепцією, має високий пребіотичний потенціал, стимулює розвиток корисної кишкової мікрофлори та є перспективним для профілактичного харчування в рамках концепції «Єдине здоров'я» One Health.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

Abedimanesh, N., Asghari, S., Mohammadnejad, K., Daneshvar, Z., Rahmani, S., Shokoohi, S., Farzaneh, A. H., Hosseini, S. H., Jafari Anarkooli, I., Noubarani, M., Andalib, S., Eskandari, M. R., & Motlagh, B. (2021). The anti-diabetic effects of betanin in streptozotocin-induced diabetic rats through modulating AMPK/SIRT1/NF-κB signaling pathway. *Nutrition & metabolism*, *18(1)*, 92. https://doi.org/10.1186/s12986-021-00621-9

Adeyemi, J. O., & Fawole, O. A. (2023). Metal-based nanoparticles in food packaging and coating technologies: A review. *Biomolecules*, *13(7)*, 1092. https://doi.org/10.3390/biom13071092

Alarkwazi, R. K., & Al-Tabatabai, H. H. M. (2026). Estimation of some vitamins in beetroot juice and their relationship to cancer. *Indian Journal of Agricultural Research, 60*(3), 474–480. https://doi.org/10.18805/IJARe.AF-998

Al-Harbi, L. N., Alshammari, G. M., Al-Dossari, A. M., Subash-Babu, P., Binobead, M. A., Al Hussain, M. H., AlSedairy, S. A., Al-Nouri, D. M., & Shamlan, G. J. B. (2021). Beta vulgaris L. (beetroot) methanolic extract prevents hepatic steatosis and liver damage in T2DM rats by hypoglycemic, insulin-sensitizing, antioxidant effects, and upregulation of PPARα. *Biology*, *10* (12), Article 1306. https://doi.org/10.3390/biology10121306

Al-Harbi, L. N., Pandurangan, S. B., Al-Dossari, A. M., Shamlan, G., Salamatullah, A. M., Alshatwi, A. A., & Alotiby, A. A. (2021). *Beta vulgaris* rubra L. (Beetroot) Peel Methanol Extract Reduces Oxidative Stress and Stimulates Cell Proliferation via Increasing VEGF Expression in H_2O_2 Induced Oxidative Stressed Human Umbilical Vein Endothelial Cells. *Genes*, *12*(9), 1380. https://doi.org/10.3390/genes12091380

Aliahmadi, M., Amiri, F., Bahrami, L. S., Hosseini, A. F., Abiri, B., & Vafa, M. (2021). Effects of raw red beetroot consumption on metabolic markers and cognitive function in type 2 diabetes patients. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, *20(1)*, 673–682. https://doi.org/10.1007/s40200-021-00798-z

Apaydın, A. S., & Onsekizoğlu Bağcı, P. (2025). Applications of membrane separation techniques in fruit juice processing. *The Journal of Food, 50(3)*, 442-465. https://dergipark.org.tr/en/pub/gida/article/1635105

Babarykin, D. (2022). On new trends in increasing the effectiveness of food supplements. *Latvian Academy of Sciences Yearbook*, 71–75. https://www.lza.lv/images/Annual_reports/YearBook_2022.pdf

Babarykin, D., Smirnova, G., Krumina, G., Vasiljeva, S., Krumina, Z., Basova, N., & Fedotova, A. (2018). Stimulating effect of red beetroot (Beta vulgaris) juice, fractioned by membrane ultrafiltration, on iron absorption in chicken intestines. *Journal of Biosciences and Medicines, 6(11), 37–49. https://doi.org/10.4236/jbm.2018.611004*

Babarykin, D., Smirnova, G., Markovs, J., Vasiljeva, S., Basova, N., Simanis, R., & Viksna, L. (2019). Therapeutic effect of fractionated by ultrafiltration red beetroot (Beta vulgaris L.) juice in rats with food-induced fatty liver. *European Journal of Biological Research, 9(1),* 1–9. https://doi.org/10.5281/zenodo.2541075

Babarykin, D., Smirnova, G., Pundinsh, I., Vasiljeva, S., Krumina, G., & Agejchenko, V. (2019). Red beet (*Beta vulgaris*) impact on human health. *Journal of Biosciences and Medicines, 7*(3), 61–79. https://doi.org/10.4236/jbm.2019.73007

Bianchi, F., Pünsch, M., & Venir, E. (2021). Effect of Processing and Storage on the Quality of Beetroot and Apple Mixed Juice. *Foods (Basel, Switzerland)*, *10(5)*, 1052. https://doi.org/10.3390/foods10051052

Bochnak-Niedźwiecka, J., Szymanowska, U., & Świeca, M. (2020). Studies on the development of vegetable-based powdered beverages: Effect of the composition and dispersing temperature on potential bioaccessibility of main low-molecular antioxidants and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, *134*, 110222. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110222

Ceclu, L., & Nistor, O. (2020). Red beetroot: Composition and health effects - A review. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care*, 5(2). https://doi.org/10.23937/2572-3278/1510043

Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., & Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food chemistry*, *272*, 192–200. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022

Clifford, T., Howatson, G., West, D. J., & Stevenson, E. J. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, *7(4),* 2801–2822. https://doi.org/10.3390/nu7042801

Cui, R., Fei, Y., & Zhu, F. (2022). Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process. *Food chemistry, 383*, 132547. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132547

de Oliveira, S. P. A., do Nascimento, H. M. A., Sampaio, K. B., & de Souza, E. L. (2021). A review on bioactive compounds of beet (Beta vulgaris L. subsp. vulgaris) with special emphasis on

their beneficial effects on gut microbiota and gastrointestinal health. *Critical reviews in food science and nutrition*, *61(12)*, 2022–2033. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1768510

del Amo-Mateos, E., Pérez, R., Merino, A., Lucas, S., García-Cubero, M. T., & Coca, M. (2024). Rhamnogalacturonan–I pectin and derived oligosaccharides obtained from sugar beet pulp and discarded red beetroot: Characterization and comparative study of their antioxidant and prebiotic properties. *Food Hydrocolloids, 152*, 109955. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109955

Elafify, M., Liao, X., Feng, J., Ahn, J., & Ding, T. (2024). Biofilm formation in food industries: Challenges and control strategies for food safety. *Food Research International*, *190*, 114650. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114650

Falsafi, S. R., Bangar, S. P., Chaudhary, V., Hosseini, E., Mokhtari, Z., Karaca, A. C., Samota, M. K., Goswami, D., Krishnan, V., Askari, G., & Rostamabadi, H. (2022). Recent advances in oral delivery of bioactive molecules: Focus on prebiotic carbohydrates as vehicle matrices. *Carbohydrate polymers*, *298*, 120074.

Flores-Mancha, M. A., Ruíz-Gutiérrez, M. G., Sánchez-Vega, R., Santellano-Estrada, E., & Chávez-Martínez, A. (2020). Characterization of Beet Root Extract (Beta vulgaris) Encapsulated with Maltodextrin and Inulin. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *25(23)*, 5498. https://doi.org/10.3390/molecules25235498

Georgiev, V. G., Weber, J., Kneschke, E. M., Denev, P. N., Bley, T., & Pavlov, A. I. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot Beta vulgaris cv. Detroit dark red. *Plant foods for human nutrition*, *65*(2), 105–111. https://doi.org/10.1007/s11130-010-0156-6

Hlikemichnyi indeks ta hlikemichne navantazhennia ovochiv. Povna tablytsia GI &

Kale, R. R., Sawate, A. R., Kshirsagar, R., Patil, B., & Mane, R. J. (2018). Studies on evaluation of physical and chemical composition of beetroot (Beta vulgaris L.). *International Journal of Chemical Studies*, 6, 2977–2979.

Kamel, S. M., Alqurashi, R. M., Alshebly, A. M., Saleh, F. A., Alnemr, T. M., Ali, H. F., Ali, S. A., Asiri, S. A., Ibrahim, M. E., Alqahtani, N. K., & Fernandes, F. A. N. (2024). Effect of drying method and coating with gum Arabic on physicochemical properties, betalain content, LDL oxidation, and storage stability of dried red beetroot slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, Article 8471292. https://doi.org/10.1155/2024/8471292

Karpyk, H., Kukhtyn, M., Selskyi, V., Nazarko, I., Pokotylo, O., & Haidamaka, M. (2021). Research of technological properties of bread made with the addition of beet kvass. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. Series: Food Technologies, *23(96)*, 3–7. https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9601

Ko, G. P., Jo, H., Kim, J., Kim, J. S., Boo, K. H., & Kim, C. S. (2024). Enterotype-Specific effects of red beetroot (Beta vulgaris L.) powder and betanin on human gut microbiota: A preliminary study based on in vitro fecal fermentation model. *Life*, *14(11)*, 1391. https://doi.org/10.3390/life14111391

Kukhtyn, M., Vichko, O., Horyuk, Y., Shved, O., & Novikov, V. (2018). Some probiotic characteristics of a fermented milk product based on microbiota of "Tibetan kefir grains" cultivated in Ukrainian household. *Journal of Food Science and Technology, 55*(1), 252–257. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2931-y

Martinez, R. M., Melo, C. P. B., Pinto, I. C., Mendes-Pierotti, S., Vignoli, J. A., Verri, W. A., & Casagrande, R. (2024). Betalains: A Narrative Review on Pharmacological Mechanisms Supporting the Nutraceutical Potential Towards Health Benefits. *Foods (Basel, Switzerland)*, *13*(23), 3909. https://doi.org/10.3390/foods13233909

Milton-Laskibar, I., Martínez, J. A., & Portillo, M. P. (2021). Current Knowledge on Beetroot Bioactive Compounds: Role of Nitrate and Betalains in Health and Disease. *Foods (Basel, Switzerland)*, *10* (6), 1314. https://doi.org/10.3390/foods10061314

Ohorodnyk, N., Svarchevska, O., Shved, O., & Kupka, T. (2023). Main aspects of the manufacturer of organic products in Ukraine. *Biotechnologia Acta, 16*(1), 40–50. https://doi.org/10.15407/biotech16.01.040

Olalekan, A. A., Durojaiye, O. K., & Owie, U. C. (2024). The potential role of beetroot juice in hyperglycemia management: A review of mechanisms and clinical outcomes. *African Journal of Agriculture and Food Science*, *7(4)*. https://doi.org/10.52589/ajafs-ekdavahq

Oyewole, O. A., Amole, O. F., Majin, E. N., & Maddela, N. R. (2026). Antimicrobial nanomaterials in food packaging and preservation. *RSC Advances*, *16(15)*, 13728–13748. https://doi.org/10.1039/d5ra09037g

Pochynok, A., Kisterska, L., Lohinova, O., Soloduha, A., & Pokotylo, O. (2023). Modification of synthetic knitted fabric with nanoparticles to provide antibacterial/antiviral properties to the surface. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University*. Series Biology, *55*, 78–89.

Postružnik, V., Stajčić, S., Borjan, D., Ćetković, G., Knez, Ž., Knez Marevci, M., & Vulić, J. (2024). Impact of storage conditions on stability of bioactive compounds and bioactivity of beetroot extract and encapsulates. *Processes*, *12(7),* 1345. https://doi.org/10.3390/pr12071345

Prieto-Santiago, V., Cavia, M. M., Alonso-Torre, S. R., & Carrillo, C. (2020). Relationship between color and betalain content in different thermally treated beetroot products. Journal of food science and technology, *57(9)*, 3305–3313. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04363-z

Punia Bangar, S., Sharma, N., Sanwal, N., Lorenzo, J. M., & Sahu, J. K. (2022). Bioactive potential of beetroot (Beta vulgaris). *Food research international (Ottawa, Ont.)*, *158*, 111556. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111556

Rudenko, A. V., Kisterska, L. D., Lohinova, O. B., Rybalko, S. L., Soloduha, H. B., & Pochynok, A. M. (2025). Providing antibacterial/antiviral properties to medical materials by modification with silver and copper nanoparticles. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*, *16(1)*, 63–74. https://doi.org/10.15407/hftp16.01.063

Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2021). Biological Properties and Applications of Betalains. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *26(9)*, 2520. https://doi.org/10.3390/molecules26092520

Sarbatly, R., Sariau, J., & Krishnaiah, D. (2023). Recent Developments of Membrane Technology in the Clarification and Concentration of Fruit Juices. *Food engineering reviews, 10*, 1–18. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s12393-023-09346-2

Shved, O., Vichko, O., Karpyk, H., & Hubrii, Z. (2025). Phytoadditional supplements phyto-suppliances with bioactive phyto-extracts in food biotechnology. *European Science*, *2(sge 39-02)*, 85–115. https://doi.org/10.30890/2709-2313.2025-39-02-017

Shynkaruk, O. Yu., Kukhtyn, M. D., Vichko, O. I., Shved, O. V., & Marintsova, N. H. (2018). Characterization of the "Enzymnyi" detergent according to ability of microbial biofilms disruption. *Visnyk Natsionalnoho Universytetu "Lvivska Politekhnika". Seriia: Khimiia, Tekhnolohiia Rechovyn ta Yikh Zastosuvannia*, *886*, 158–164.

Sistani Karampour, N., Arzi, A., Rezaie, A., Pashmforosh, M., & Rad, H. (2019). Gastroprotective effects of betanin against ethanol-induced gastric ulcer in rats. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, *14(3)*, e14473. https://doi.org/10.5812/jjnpp.14473

Slavov, A., Karagyozov, V., Denev, P., Kratchanova, M., & Kratchanov, C. (2013). Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pretreatments. *Czech Journal of Food Sciences, 31*(2), 139–147. https://doi.org/10.17221/61/2012-CJFS

Soja, J., & Nowak, D. (2026). Fruit Juice Processing Technologies and Their Impact on the Content of Bioactive Compounds-A Review of Current Approaches. *Food science & nutrition*, 14(7), e72073. https://doi.org/10.1002/fsn3.72073

Soutelino, M. E. M., da Silva, D. B., Rocha, R. da S., de Oliveira, B. C. R., Esmerino, E. A., da Cruz, A. G., Márcico, E. T., & Silva, A. C. de O. (2023). Yogurt added with beetroot extract: Physicochemical parameters, biological activities and sensory evaluation by check-all-that-apply method. *International Journal of Food Science & Technology, 58(6)*, 3303–3309. https://doi.org/10.1111/ijfs.16214

Tyler, A. P., Linder, B. A., Ricart, K., Behrens, C. E., Ovalle, F., Patel, R. P., & Fisher, G. (2024). The effects of acute beetroot juice intake on glycemic and blood pressure responses when controlling for medication in individuals with type 2 diabetes: *A pilot study. Nutrients*, *16(16)*, 2636. https://doi.org/10.3390/nu16162636

Vaccaro, M. G., Innocenti, B., Cione, E., Gallelli, L., De Sarro, G., Bonilla, D. A., & Cannataro, R. (2024). Acute effects of a chewable beetroot-based supplement on cognitive performance: a double-blind randomized placebo-controlled crossover clinical trial. *European journal of nutrition*, *63*(1), 303–321. https://doi.org/10.1007/s00394-023-03265-y

Vichko, O., Karpyk, H., Shved, O., Hubrii, Z., & Kopchak, N. (2024). Development of biotechnology of dairy beverages with bioactive phytoextracts of licorice. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, *7(1)*, 154–164. https://doi.org/10.23939/ctas2024.01.154

Weinstock G. M. (2016). A Glimpse of Microbial Power in Preventive Medicine. JAMA pediatrics, *170(1)*, 11. https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2015.3246.

Wiczkowski, W., Romaszko, E., Szawara-Nowak, D., & Piskula, M. K. (2018). The impact of the matrix of red beet products and interindividual variability on betacyanins bioavailability in humans. *Food Research International*, *108*, 530–538. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.004

Willcox, M. L., Elugbaju, C., Al-Anbaki, M., Lown, M., & Graz, B. (2021). Effectiveness of Medicinal Plants for Glycaemic Control in Type 2 Diabetes: An Overview of Meta-Analyses of Clinical Trials. *Frontiers in pharmacology*, *12*, 777561. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.777561

Xianting, Li ,Yingxuan, Feng , Youyang, Ye. Min Guo, Wenwei, Lu, Jianxin, Zhao , Yue, Xiao. (2025). Wei Chen Exploring the prebiotic potential of sugar beet fiber through in vitro fecal fermentation: modulation of gut microbiota and associated metabolic signature. *Food Bioscience*, *73*. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107768

Yong, Y. Y., Ong, M. W. K., Dykes, G., & Choo, W. S. (2021). Betacyanin-inhibited biofilm formation of co-culture of Staphylococcus aureus and Pseudomonas aeruginosa on different polymer surfaces. *FEMS microbiology letters*, *368(1)*, 214. https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa214