



2023

НАУКОВІ ПРАЦІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 29 № 3

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
видається з 1938 року*

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2023

Articles with the results of fundamental theoretical developments and applied research in the field of technical and economic sciences are published in this journal. The scripts of articles are reviewed beforehand by leading specialists of corresponding branch.

The journal was designed for professors, tutors, scientists, post-graduates, students of higher education establishments and executives of the food industry.

Journal "Scientific Works of National University of Food Technologies" is included into the list of professional editions of Ukraine of technical (specialties — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) and economic sciences (specialties — 051, 073, 075), category "B" (Decree of MES of Ukraine #975 from July 11, 2019), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal "Scientific Works of National University of Food Technologies" is indexed by the following scientometric databases:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

The Journal is recommended for publication of research results by the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

Editorial office address:

National University of
Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 11 from 29th of June, 2023

© NUFT, 2023

У журналі публікуються статті за результатами фундаментальних теоретичних розробок і прикладних досліджень у галузі технічних та економічних наук. Рукописи статей попередньо рецензуються провідними спеціалістами відповідної галузі.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, докторантів і студентів вищих навчальних закладів, керівників підприємств харчової промисловості.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних (спеціальності — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) та економічних наук (спеціальності — 051, 073, 075), категорія «Б» (Наказ МОН України № 975 від 11.07.2019), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» індексується такими наукометричними базами:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

Журнал рекомендовано Міністерством науки і вищої освіти Польщі для публікації результатів наукових досліджень.

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 11 від 29 червня 2023 року

© НУХТ, 2023

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар

Accountable secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна

Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

Ph. D. Hab., Lithuanian Institute of Agrarian Economics,
Lithuania

Атанаска Тенєва

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

Ph. D. Hab., As. Prof., University of Food Technologies,
Bulgaria

Анатолій Зайнчковський

Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Анатолій Ладанюк

Anatoly Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Андрій Маринін

Andrii Marynin

канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна

Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Браян Мак Кенна

Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія

Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland

Валерій Мирончук

Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Кишенько

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна

Ph. D., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Василь Пасічний

Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

В'ячеслав Івашук

Vyacheslav Ivaschuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Галина Колісник

Halyna Kolisnyk

д-р екон. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., Uzhhorod National University, Ukraine

Галина Поліщук Halyna Polishchuk	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Герхард Шльонінг Gerhard Schleining	д-р техн. наук, Австрія Ph. D. Hab., Prof., University of Natural Resources, Austria
Дайва Лескаускайте Daiva Leskauskaite	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Ірина Штулер Iryna Shtuler	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National academy of management
Кристина Сильва Cristina L. M. Silva	д-р техн. наук, проф., Португалія Ph. D. Hab., Prof., University de Catolica, Portuguesa
Лада Шірінян Lada Shirinyan	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Лариса Арсеньєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Луцька Nataliia Lutska	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Гавва Oleksandr Gavva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Кургаєв Oleksandr Kurgaev	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Дерев'янка Olena Derevianko	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Стабнікова Olena Stabnikova	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттія Paola Pittia	д-р техн. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Teramo, Italy
Володимир Ковбаса Volodymyr Kovbasa	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Літвинчук Svitlana Litvynchuk	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Чумаченко Serhii Chumachenko	д-р техн. наук, ст. наук. сп., Україна Ph. D. Hab., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Лелієвельд Huub Lelieveld	д-р наук, проф., Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, the Netherlands

Автоматизація та інформаційні технології

Луцька Н.М., Власенко Л.О., Заєць Н.А. Прогнозування ресурсоефективності цукрового заводу на основі нейромережних моделей

Безпека харчових продуктів і виробництв

Шинкариук К. В., Пащенко Б. С., Арсенєва Л. Ю. Розроблення заходів операційного вдосконалення технологічних процесів для операторів ринку харчової продукції

Біотехнології

Пирог Т. П., Парфенюк М. А. Вплив конкурентних еукаріотичних мікроорганізмів на синтез і властивості вторинних метаболітів. Частина 1. Мікроміцети як регулятори синтезу та біологічної активності вторинних метаболітів

Скороцька О. І., Марченко В. В. Біосинтез наночастинок благородних металів. Частина 1. Використання грибів, дріжджів і бактерій

Харчові технології

Скнар І. В., Миргородська-Терентьєва В. Д., Приловський О. В., Осокін Є. С., Ніколенко М. В. Клейстеризація картопляного крохмалю способом *in vitro* за надмірного вмісту води. Частина 2. Вплив кислотності розчину на процес вилучення амілози з крохмальних гранул

Чернюшок О. А., Дубівко А. С., Бірюк Ю. В. Фортифікація посічених напівфабрикатів з використанням вівсяного борошна та сухої демінералізованої молочної сироватки

Селезньова Д. В., Неміріч О. В., Кузьмін О. В., Гавриш А. В., Мамченко Л. Є. Моніторинг безпечності чизкейків на основі принципів HACCP

Радзівєвська І. Г., Мельник О. П., Маринін А. І. Удосконалення технології одержання жирних кислот з відходів олійно-рафінаційного виробництва

Білик О. А., Грищенко А. М., Халікова Е. Ф., Ковбаса В. М., Міцейкієне І. Т. Вплив поліпшувача «Свіжість» на реологічні властивості пшеничного тіста з висівками

Automation and information technologies

7 Lutska N., Vlasenko L., Zaiets N. Prognostication resource efficiency of the sugar factory based on neuron network models

Food Products Safety and Occupational Health

19 Shynkariuk K., Pashchenko B., Arsenieva L. Development of measures for operational improvement of technological processes for foodstuff production enterprises

Biotechnologies

33 Pirog T., Parfeniuk M. Influence of competitive eukaryotic microorganisms on the synthesis and properties of secondary metabolites. Part 1. Micromycetes as regulators of the synthesis and biological activity of secondary metabolites

50 Skrotska O., Marchenko V. Biosynthesis of noble metal nanoparticles. Part 1. Use of fungi, yeast and bacteria

Food Technologies

101 Sknar I., Myrhorodska-Terentieva V., Prylovskiy O., Osokin Ye., Nikolenko M. In vitro gelatinization of potato starch with excessive water content. Part 2. The effect of solution acidity on the process of amylose extraction from starch granules

84 Chernyushok O., Dubivko A., Biryuk Yu. Fortification of chopped semi-finished products using oat flour and dry demineralized milk whey

93 Seleznova D., Niemirich O., Kuzmin O., Havrysh A., Mamchenko L. Monitoring the safety of cheesecakes based on HACCP principles

110 Radzievskaya I., Melnyk O., Marynin A. Improving the technology for producing fatty acids from oil refinery waste

119 Bilyk O., Khalikova E., Hryshchenko A., Kovbasa V., Miceikiene I. The influence of the "Svizhist" improver on the rheology properties of wheat dough with bran

-
- Гусятинська Н. А., Каленик О. С., Григоренко Н. О.* Виробництво харчових сиропів із сорго цукрового 128 *Husiatynska N., Kalenyk O., Hryhorenko N.* Production of food syrups from sugar sorghum
- Сильчук Т. А., Різник А. О.* Удосконалення технології та аналіз харчової цінності хлібних виробів з вівсяного толокна 139 *Silchuk T., Riznyk A.* Improvement of technology of bread with oat fiber and analysis of its nutritional value
- Шевченко А. О., Фурсік О. П.* Вплив концентрату рисового протеїну в поєднанні з фосфоліпідами на якість і харчову цінність пшеничного хліба 150 *Shevchenko A., Fursik O.* The effect of rice protein concentrate in combination with phospholipids on the quality and nutritional value of wheat bread
- Кочубей-Литвиненко О. В., Пухляк А. Г., Щербатюк О. Г.* Вплив електроіскрового оброблення сироватки молочної на інтенсивність її ферментації 159 *Kochubei-Lytvynenko O., Pukhliak A., Shcherbatiuk O.* Influence of electro-spark treatment of milk whey on its fermentation intensity
- Двінських Н. В., Азаренко Ю. М., Хохленкова Н. В., Калюжная О. С.* Розробка складу та дослідження властивостей желейних цукерок з додаванням яблучного оцту 168 *Dvinskykh N., Azarenko Yu., Khokhlenkova N., Kaliuzhnaia O.* Development of the composition and study of the properties of jelly candies with the addition of apple vinegar

PROGNOSTICATION RESOURCE EFFICIENCY OF THE SUGAR FACTORY BASED ON NEURON NETWORK MODELS

N. Lutska

National University of Food Technologies

L. Vlasenko

State University of Trade and Economics

N. Zaiets

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

*Model
Sugar production
Neural network
Resource efficiency
Digital twin
Forecasting*

Article history:

Received 15.05.2023
Received in revised form
30.05.2023
Accepted 05.06.2023

Corresponding author:

N. Lutska

E-mail:

lutskanm2017@gmail.com

Citation: Луцька Н. М., Власенко Л. О., Засць Н. А. (2023). Прогнозування ресурсоефективності цукрового заводу на основі нейромережкових моделей. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 7—18.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-3

ABSTRACT

Digitization, the use of artificial intelligence, machine learning and other advanced technologies provide comprehensive automation of food production in the context of Industry 4.0. In particular, sugar production is the most difficult to automate due to continuity, difficulty in coordinating adjacent links, and high energy and resource intensity. The issue of ensuring the stability and efficiency of sugar production directly depends on forecasting its resource efficiency in order to timely introduce appropriate corrective actions.

The aim of the work was to develop a system to support the adoption of operational decisions to correct the technological regimes of a sugar plant based on a mathematical model of sugar production to predict resource efficiency indicators in the context of a digital twin.

Modern methods for building highly efficient automated decision support subsystems in accordance with the concept of Industry 4.0, in particular, methods of system analysis and machine learning were used.

As a result of the work, an operational decision support system based on four machine learning models was obtained. Each model described a set of estimated resource efficiency, the input variables for which were technological variables from automation systems and an industrial laboratory.

The training efficiency was more than 95% on the training and test samples. The concept of using the developed models of neural networks in the structure of the model of digital twins of production was also proposed. A five-dimensional digital twin model for sugar production was presented, consisting of four components and relationships between them. The specified model underlied the created system of support for making operational decisions on the correction of technological modes of production and significantly improved the time, quality and speed of making operational decisions.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-3

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ

Н. М. Луцька

Національний університет харчових технологій

Л. О. Власенко

Державний торговельно-економічний університет

Н. А. Заєць

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Цифровізація, впровадження штучного інтелекту, машинного навчання та інших передових технологій забезпечують комплексну автоматизацію харчових виробництв в контексті Індустрії 4.0. Цукрове виробництво є найбільш складним для автоматизації через неперервність, складність координації суміжних ланок, високу енерго- та ресурсомісткість, тому питання забезпечення стабільності та ефективності його роботи безпосередньо залежить від прогнозування його ресурсоефективності з метою вчасного введення відповідних коригуючих дій.

У статті розроблено систему підтримки прийняття оперативних рішень щодо корекції технологічних режимів цукрового заводу на основі математичної моделі цукрового виробництва для прогнозування показників ресурсоефективності в контексті цифрового двійника.

Використано сучасні методи побудови високоефективних автоматизованих підсистем підтримки прийняття рішень відповідно до концепції Індустрії 4.0, зокрема методи системного аналізу та машинного навчання. У результаті отримано систему підтримки прийняття оперативних рішень, що базується на чотирьох моделях машинного навчання. Кожна модель описує множину оцінок ресурсоефективності, входними змінними, для яких є технологічні змінні від систем автоматизації та промислової лабораторії. Ефективність навчання склала більше 95% на навчальній і тестовій вибірках.

Запропоновано концепцію використання розроблених моделей нейронних мереж у структурі моделі цифрових двійників виробництва. Представлено п'ятивимірну модель цифрового двійника для цукрового виробництва, яка складається з чотирьох компонентів і зв'язків між ними. П'ятивимірна модель цифрового двійника містить у своєму складі математичну модель цукрового виробництва по основним відділенням і реалізована нейронною мережею прямого розповсюдження з одним прихованим шаром. Зазначена модель лежить в основі створеної системи підтримки прийняття оперативних рішень щодо корекції технологічних режимів виробництва і суттєво покращує час, якість і швидкість прийняття оперативних рішень.

Ключові слова: *модель, цукрове виробництво, нейронна мережа, ресурсоефективність, цифровий двійник, прогнозування.*

Постановка проблеми. Згідно з (Директива Ради 2001/111/ЄС, 2021) з 1 вересня 2022 року вимоги до виробництва цукру в Україні приведені у відповідність до європейських. Зокрема, документ регламентує назви продуктів, які випускаються на цукрових підприємствах, та встановлює їхні відповідні характеристики. У зв'язку з цим нової актуальності набуває низка питань, пов'язаних із забезпеченням якісних показників, складу, допустимих часток домішок у готовому продукті та напівпродуктах, і, як наслідок, вирішення питання ресурсоефективності виробництва. З огляду на проблеми в енергетичній та інших сферах через російську агресію нового змісті набуває необхідність прогнозування ресурсоефективності цукрового заводу, оскільки це дасть змогу завчасно відреагувати на можливі підвищення витрат і втрат. Важливим для досягнення зазначених вимог є забезпечення безперебійної роботи цукрового виробництва, яке досягається на нижньому рівні автоматизації за рахунок введення корекції технологічного режиму в реальному часі, а на вищих рівнях — використанням засобів і технологій керування технологічним процесом (MOM) та системи керування виробничими процесами (MES).

Математичні моделі завжди використовувалися на різних етапах життєвого циклу цукрового заводу. Однак сьогодні, коли активно застосовуються принципи Industry 4.0, їх роль і місце чітко означилося в структурі виробництва — моделі стали невід'ємною частиною цифрового двійника (далі Digital Twin) підприємства (Pileggi et al., 2019). Розробці Digital Twin передують процес переходу підприємства від ручної праці до автоматизації всіх дільниць, а також інтеграція всіх даних і знань виробництва в єдину мережу підприємства. Без останнього неможливо перейти на наступний етап створення Digital Twin.

Digital Twin промислового підприємства — складна багатовимірна структура даних і знань підприємства, що включає дані, моделі та інтерфейси. Моделі можуть мати будь-яке походження та використовуються з різними цілями. Розподіл цілей за ієрархічними функціями визначений у низці рекомендацій, міжнародних і галузевих стандартів світу, зокрема ISO, IEC (Hallsten, 2019; Soonhung, 2020). Незалежно від структури та цілі окремих моделей Digital Twin підприємства використовується до таких глобальних завдань:

- моніторинг виробництва;
- розуміння процесів, що відбуваються на виробництві;
- прогнозування головних показників підприємства;
- адаптація.

Ці завдання є ієрархічними, тому перехід на наступний рівень неможливий без закінчення попереднього. Реалізація кожного завдання на сьогодні — це комплексний підхід до розробки ієрархічної системи управління виробництвом, головним елементом якого є інтелектуальні підходи та методи (Zaiets, Savchuk, Shtepa, Lutska, & Vlasenko, 2021; Lutska, Zaiets, Vlasenko, Shtepa, & Savchuk, 2021). Окремо необхідно зазначити, що методи машинного навчання мають перевагу серед інших інтелектуальних методів, тому що, по-перше, такі моделі досить просто масштабуються; по-друге, використовуються дані, зібрані на реальних процесах; по-третє, досить просто адаптуються до змінюваних умов (появи нових даних). До недоліків цих методів відноситься складність і значний час для отримання репрезентативної вибірки.

Отже, розробка інструментів підтримки прийняття оперативних рішень з метою підвищення інформаційної підтримки показників ресурсоефективності та їх прогнозування є актуальною проблемою сьогодення цукрової галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як зазначає J. Broekhuijsen з європейського проєкту з цифровізації промислових підприємств Change2Twin (Snijders et al., 2020), основна відмінність моделі, що входить у Digital Twin від традиційних моделей — використання даних у реальному часі. Іншими словами, цифрова модель використовує оперативні дані, змінюється протягом функціонування виробництва та використовується для підвищення ефективності будь-якої ланки життєвого циклу заводу. Логічним для побудови цифрової моделі є моделі машинного навчання, адже вони використовують дані об'єкта, а також в більшості з них закладений алгоритм адаптації.

Найбільш популярними моделями машинного навчання сьогодні є нейронні мережі. Вони здатні ефективно апроксимувати великий простір станів, що характеризується нелінійністю та невизначеністю. Моделі на нейронних мережах перевершують експертні моделі, адже їм не потрібно оцінювати всі можливі стани, що призводить до вищої точності (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016; Zaiets, Vlasenko, Lutska & Shtepa, 2022). Однак вони вимагають визначення багатьох додаткових налаштувань, а моделі глибинного навчання потребують великих обчислювальних потужностей. Зважаючи на це, значна частка прикладних досліджень, що базуються на моделі нейронних мереж, використовують прості архітектури мереж, наприклад, багатошаровий перцептрон MLP (Bishop, 2006). Тоді завдяки попередній обробці даних та простій архітектурі нейронної мережі можна отримати модель, яка має високу точність і надійність.

Особливості використання моделей машинного навчання при управлінні цукровим виробництвом описані в (Coelho et al., 2019; Oktarini, Mohruni, Sharif, Yanis, & Madagaskar, 2019). Так, у працях (Begum, Nimbal, & Halse, 2013; Lin, Lei, Song, Song, & Liu, 2008; Lin, & Yang, 2009), використовуючи методи нечітких множин, евристичного динамічного програмування та нейронних мереж, забезпечуються оптимальні показники рН для виробництва цукру. У (Soares, Camara, Feital, & Pinto, 2019) висвітлюється успішна реалізація цифрового двійника для моніторингу стану чотириступеневої лінії випаровування для обробки цукрової тростини. В (Heluane, Colombo, Ingaramo, Hernandez, & Cesca, 2001) наведено результати аналізу впливу вимірюваних змінних випарної установки на розрахунки потоків пари та їх змінюваність, а також їх вплив на глобальний коефіцієнт теплопередачі за різних умов експлуатації. Але ці праці присвячені переробці цукрової тростини, а не буряку.

Підсумовуючи, варто зазначити, що цукрова галузь України готова до впровадження Digital Twin, однак глобальний характер такі впровадження навряд чи матимуть. Перспективним є підходи розробки та використання Digital Twin окремими функціями підприємства, що дають змогу отримати миттєвий прибуток і можуть бути розширені іншими складовими в подальшому.

Мета дослідження: розробка цифрової моделі виробництва для оперативного коригування технологічних режимів, що призводить до підвищення ресурсоефективності цукрового заводу. Розроблена модель відноситься до виробничого процесу, операцій (множина етапів життєвого циклу) і функцій рівня MES/MOM.

Матеріали і методи. Головними вимогами до системи автоматичного керування (АСУ) відділеннями цукрового заводу є створення умов для найповнішого видобутку цукру із стружки, отримання дифузійного соку заданої концентрації, очищення його, згущення, що забезпечить вихід продукту заданої якості. Крім того, необхідне забезпечення заданої продуктивності всіх технологічних ліній з одночасним забезпеченням максимальної економічності процесу. Однак робота АСУ безпосередньо залежить від режимних параметрів (завдання регуляторам), що задаються оператором-технологом заводу кожну зміну на основі оперативних даних, в тому числі з виробничої лабораторії. Такими визначальними оцінками є показники ресурсоефективності як окремого відділення, так і виробництва в цілому. При корекції технологічного режиму оператор-технолог керується власними апіорними знаннями про процес, апостеріорними даними, а також власним баченням прогнозу основних показників на наступну зміну. Саме тому автоматизований прогноз оцінок ресурсоефективності підвищить інформаційну підтримку оперативного персоналу.

При вирішенні завдання корекції технологічних режимів виробництва в цілому та окремих відділень виділяються такі множини оцінок ресурсоефективності: продуктивність, якість, втрати.

Кожна з цих складових може бути як скаляром, так і вектором для відділення. Для цукрового виробництва виділяють показники окремих відділень і загальні показники. Саме їх аналіз призводить до корекції завдання автоматичних регуляторів АСУ відділеннями. Так, для етапу отримання дифузійного соку головними оцінками якості є вміст цукру в дифузійному соці, втрати — вміст цукру в жомі. Для етапу очистки якість відділення визначається показниками забарвленості та ефекту очистки, втрати — це вміст цукру в осаді I та II сатурації. Для випарної станції якість — це кількість СР у сиропі. Продуктивність кожного відділення визначає продуктивність всього заводу та потребує включення потокових змінних між відділеннями в модель прогнозування, також на цукровому виробництві, окрім продуктивності основного продукту, розраховується продуктивність по парі. Крім того, основним показником втрат є втрати цукру в мелясі, що розраховуються в продуктовому відділенні. У такий спосіб було виділено основні оцінки цукрового виробництва, що впливають на його ресурсоефективність і визначають технологічний режим окремих відділень та заводу в цілому (табл. 1).

Таблиця 1. Оцінки ресурсоефективності

Відділення	Позначення	Оцінка	Примітка
Дифузії	y_1	Вміст цукру в жомі, %	Втрати
	y_2	Вміст цукру в дифузійній воді, %	Якість
	y_3	Відкачка дифузійного соку, т/год	Продуктивність
Дефекосатурації	y_4	Вміст цукру % у фільтрованому осаді I сатурації	Втрати
	y_5	Вміст цукру % у фільтрованому осаді II сатурації	Втрати
	y_6	Забарвленість, од.	Якість
	y_7	Ефект очистки, %	Якість

Продовження таблиці 1

Випарювання	y_8	СР сиропу, %	Якість
	y_9	Вміст цукру в конденсаті, %	Втрати
	y_{10}	Кількість випареної води, т/год	Продуктивність
Продуктове	y_{11}	Вміст цукру в мелясі, %	Втрати
	y_{12}	Вихід цукру, т/год	Продуктивність

Отримана модель є базовою для системи підтримки прийняття оперативних рішень щодо корекції технологічних режимів виробництва (рис. 1). Система складається з моделі виробництва, завдяки якій можна проводити моделювання оцінок ресурсоефективності на основі введених від оперативного персоналу режимних параметрів. Також модель використовується для прогнозування майбутньої поведінки введених оцінок. Крім того, модель повинна мати блок адаптації параметрів. Рішення щодо зміни технологічного режиму залишається за оперативним персоналом, однак використання такої системи підвищує коректність, надійність та обґрунтованість рішень, а також зменшує час на його прийняття.

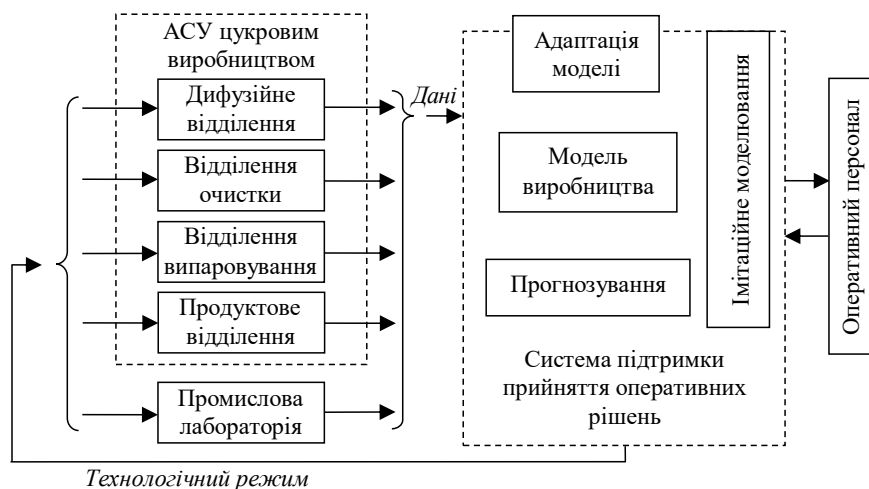


Рис. 1. Структурна схема системи оперативного прийняття рішень щодо корекції технологічних режимів цукрового виробництва

Вхідними змінними для моделі виробництва можуть бути змінні (температури, витрати, тиски, рівні, якісні показники) від систем АСУ відділень, отримані з автоматичних вимірювальних приладів, а також якісні змінні з промислової лабораторії (лужність, кількість сухих речовин, доброякісність, кількість цукру). Залежно від потужності заводу, а також рівня його автоматизації, кількість цих змінних може бути різною. Для цукрового заводу потужністю 2000 т переробки буряку на добу та з прийнятим рівнем автоматизації кількість таких змінних перевищує 500. Кількість лабораторних змінних приблизно складає 200.

Викладення основних результатів дослідження. Усі технологічні змінні територіально розподілені за відділеннями, їх вплив на оцінки ресурсоефективності визначаються не лише значенням, а й міткою часу. Крім того, лабораторні змінні

мають період опитування 1 раз на годину, а змінні від системи автоматизації — 1 раз за 5 секунд. На рис. 2 наведена діаграма розмахів головних витрат заводу, що отримана з відділень АСУ, де можна побачити розбіжність між середнім арифметичним і медіаною, різні міжквантильні розмахи, а також значну частку викидів для x_2 , x_5 , x_6 . Усе це підтверджує обрану нелінійну модель, що базується на нейронних мережах. Зважаючи на велику кількість змінних, було виконано ряд процедур, які призводять до спрощення моделі. Зокрема, вхідні змінні були зміщені в часі відносно їх інерційності щодо вихідних оцінок.

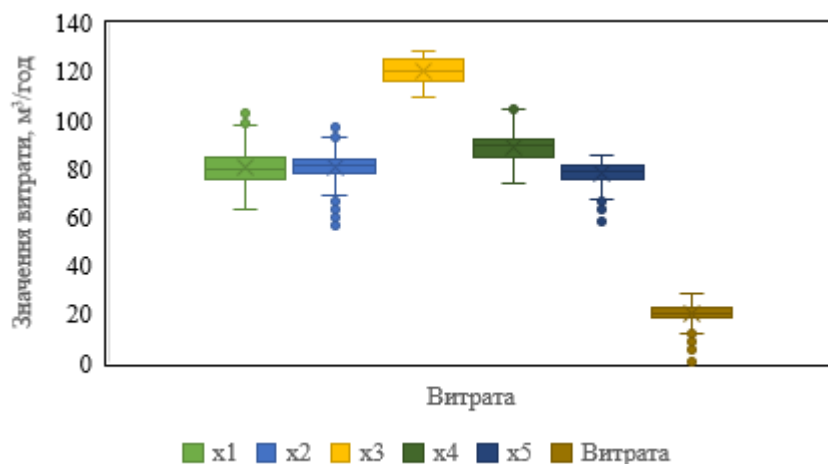


Рис. 2. Діаграма розмахів головних витрат заводу: x_1 — витрата соку із дифузійної установки $\text{м}^3/\text{год}$; x_2 — витрата стружки, $\text{т}/\text{год}$; x_3 — витрата соку з холодного дефектора, $\text{м}^3/\text{год}$; x_4 — витрата соку на II сатурацію, $\text{м}^3/\text{год}$; x_5 — витрата соку на випарну станцію, $\text{м}^3/\text{год}$; x_6 — витрата сиропу із випарної станції, $\text{м}^3/\text{год}$

Також загальна модель виробництва поділена на чотири блоки, перші три з яких (NN1 — NN3) є моделлю відповідного неперервного відділення — дифузійне, дефекосатураційне та випарне, що прогнозує оцінки ресурсоефективності за змінними з відповідної системи автоматизації та промислової лабораторії. Остання модель (NN4) використовує дані з усього виробництва, включаючи продуктове відділення. Кожен блок реалізується нейронною мережею прямого поширення. З множини технологічних змінних відібрані експертами лише ті, що впливають на вихідні оцінки та, якщо можна, не корелюються між собою. Також вплив вхідних змінних на вихідні перевірялися за кореляційними матрицями. Отже, математична модель виробництва описується такою залежністю:

$$\bar{y} = f(\bar{x}); \quad \bar{y} = [y_1, y_2, \dots, y_{10}]; \quad \bar{x} = [\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{75}], \quad (1)$$

де f — нелінійна моделі виробництва; y_i — відповідні оцінки (табл. 1); x_i — відповідні технологічні змінні кожного відділення, загальною кількістю 75.

Під час навчання нейронних мереж перевірялися різні архітектури мереж, найкращі з них наведені в табл. 2. Остаточні мережі мають високу продуктивність на навчальній і тестовій вибірках, похибка моделі складає менше 5%.

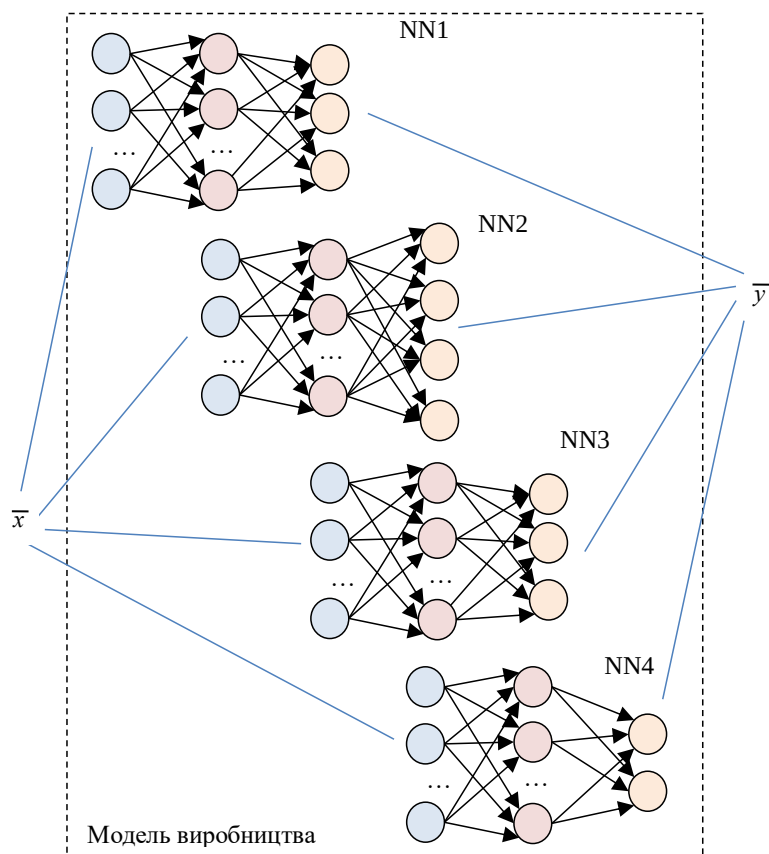


Рис. 3. Структура моделей нейронних мереж

Таблиця 2. Результати розв'язку задачі синтезу виробничих моделей у формі нейронних мереж

Відділення	Архітектура мережі	Якість на навчальній вибірці	Якість на тестовій вибірці	Алгоритм навчання	Функція активації нейронів прихованого шару
Дифузійне	NN1: MLP11-14-3	0.983	0.982	BFGS 290	Tanh
Дефекосатураційне	NN2: MLP32-23-4	0.964	0.971	BFGS 95	Tanh
Випарне	NN3: MLP27-20-3	0.972	0.955	BFGS 67	Identity
Продуктове	NN4: MLP30-11-2	0.9735	0.9724	BFGS 290	Tanh

Використовуючи кожну з моделей, можна виявляти етапи виробництва, де втрати найбільші, моделювати різні ситуації змінюючи входні дані, а також прогнозувати втрати, якість і продуктивність на наступні години або зміну. Наприклад, на рис. 4 наведено діаграму Парето розрахованих за моделлю втрат цукру в мелясі,

за якими можна зробити висновок, що за наведену зміну найбільші втрати цукру в мелясі відбувалися в продуктовому відділенні та до надходження дифузійного соку в очисне відділення. Також на рис. 5 показано дійсне та прогнозоване значення кількості випареної води на випарній станції. За цими показниками можна змінювати технологічний режим виробництва, постійно вдосконалюючи виробничу ланку заводу.

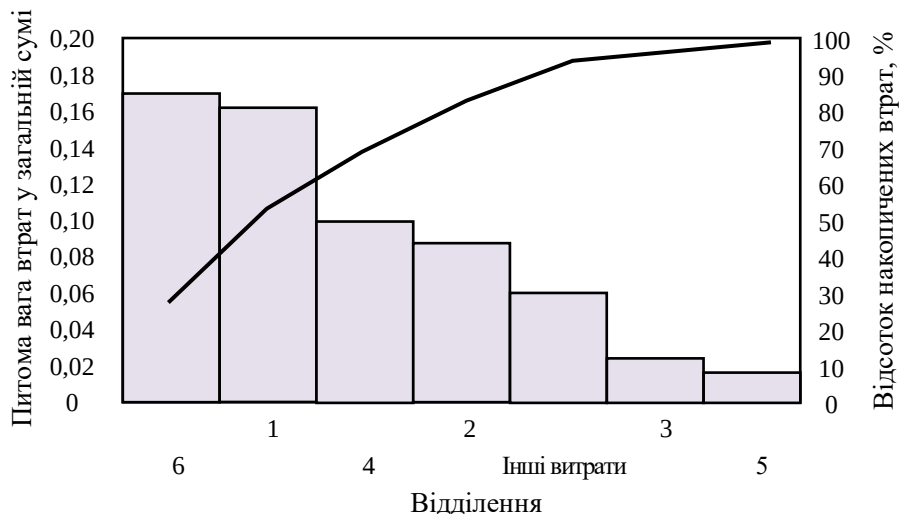


Рис. 4. Діаграма Парето втрат цукру в мелясі, розрахованих за NN4,1 — відділення дифузії; 2 — відділення дефекосатурації; 3 — збірник після дифузії; 4 — випарна станція; 5 — збірник після випарки; 6 — продуктове відділення

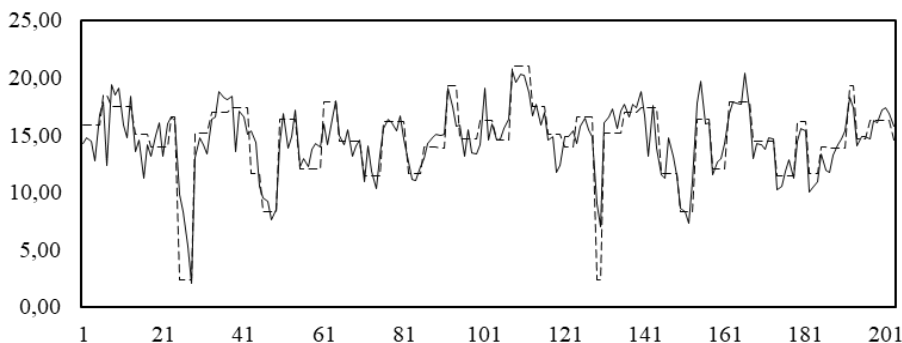


Рис. 5. Дійсне (суцільна лінія) та прогнозоване (пунктирна лінія) значення кількості випареної води, т/год за NN3

На основі отриманих результатів була розроблена п'ятивимірна модель цифрового двійника (Qi et al., 2021) цукрового заводу, сформульована залежністю:

$$MDT = (PE, VM, Ss, DD, CN), \quad (2)$$

де *PE* — фізичні сутності; *VM* — віртуальні моделі; *Ss* — сервіси; *DD* — дані цифрового двійника; *CN* — з'єднання (зв'язки).

У п'ятивимірній моделі цифрового двійника цукрового заводу використовуються позначення, наведені нижче. *Фізичні сутності (FE)* відповідають рівню виробництва, які на нижньому рівні розгортаються у відділення: дифузії, очистки, випарювання та продуктове.

Оскільки *віртуальні моделі (VM)* в цифровому двійнику повинні бути точними копіями фізичних об'єктів, то використано математичну модель виробництва (1), а також нейромережеві моделі. Моделі правил складають правила прийняття рішень для системи підтримки прийняття рішень, розроблені на основі суджень залучених експертів, і правил, отриманих з історичних даних. Також сюди належать процедури отримання множини оцінок ресурсоефективності, зокрема продуктивності, якості і втрат, для автоматизованого прогнозу їх значень і введення на їх основі коригувальних дій.

Даними для цифрового двійника (DD) є виробничі дані, отримані від АСУ, з виробничих лабораторій і розраховані за відповідними методиками.

Компонента *сервіси цифрового двійника (Ss)* забезпечує прикладні послуги з прогнозування ресурсоефективності цукрового виробництва, що базується на результатах моніторингу. Важливою складовою цієї компоненти є надання рекомендацій щодо коригування технологічного регламенту виробництва в реальному часі. На рис. 6 наведено п'ятивимірну модель цифрового двійника для цукрового виробництва. Для забезпечення взаємодії частин цифрового двійника між собою використано шість типів зв'язань (*CN*): зв'язок між фізичними об'єктами та віртуальними моделями (*CN_PV*), зв'язок між фізичними об'єктами та даними (*CN_PD*), зв'язок між фізичними об'єктами та послугами (*CN_PS*), зв'язок між віртуальними моделями та даними (*CN_VD*), зв'язок між віртуальними моделями та сервісами (*CN_VS*), зв'язок між сервісами та даними. Ці зв'язки дають змогу чотирьом частинам взаємодіяти.

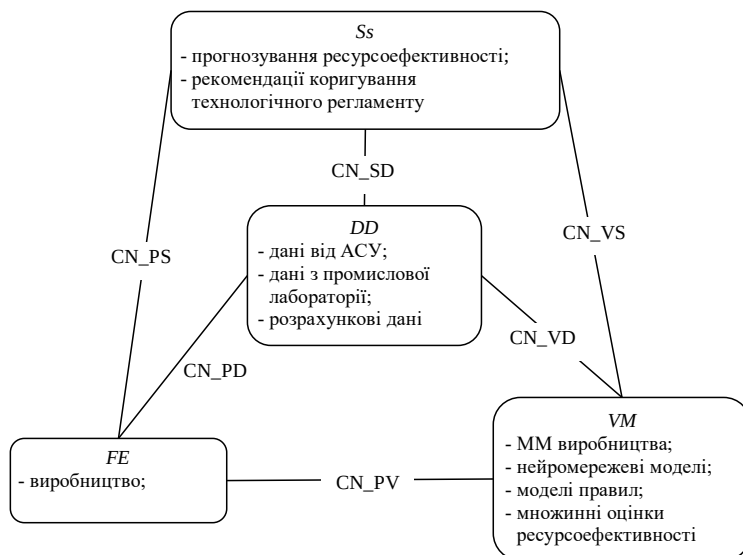


Рис. 6. П'ятивимірна модель цифрового двійника цукрового заводу

Висновки

Комплексна автоматизація харчового виробництва в контексті Індустрії 4.0, зокрема цукрового заводу, передбачає використання математичних моделей для прогнозування технологічних змінних цукрового заводу, що задають технологічний режим для САР. Передусім до таких змінних належать різні типи втрат, показники якості та продуктивності. Такі моделі, окрім прогнозування, можуть також використовуватися для імітаційного моделювання, виявлення стану тощо, а також слугують для інформаційної підтримки операторів-технологів щодо зміни режиму ведення процесу. Останнє дасть змогу підвищити ритмічність процесів, покращити якість, збільшити продуктивність, зменшити втрати, тобто збільшити енергоефективність виробництва в цілому.

У статті запропоновано систему оперативного прийняття рішень щодо корекції технологічних режимів цукрового виробництва, що базується на чотирьох математичних моделях, вихідними змінними яких є головні технологічні показники заводу. Кожна модель є нейронною мережею прямого розповсюдження з одним прихованим шаром. Похибка моделей після навчання склала менше 5% на навчальній і тестовій вибірках. Крім того, в статті розроблена концепція використання моделей нейронних мереж у моделі цифрових двійників виробництва.

На майбутнє автори планують розширити базу моделей цифрових двійників шляхом використання та поєднання їх з іншими методами машинного навчання, а також з класичними моделями.

Література

Директива Ради 2001/111/ЄС від 20 грудня 2001 року про деякі цукри, призначені для споживання людиною. Взято з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-01#Text.

Begum, R., Nimbale, G. M., Halse, S.V. (2013). Fuzzy neural network modelling and pH value control in the clarifying process of sugar cane juice. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, 2(2), 25—32.

Bishop, C. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Berlin: Springer.

Coelho, A. P., Bettiol, J. V. T., Dalri, A. B., Fischer Filho, J. A., de Faria, R. T., Palaretti, L. F. (2019). Application of artificial neural networks in the prediction of sugarcane juice Pol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(1), 9—15. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p9-15>.

Hallsten, J. (2019). IIC: Industrial IoT Reference Architecture. Взято з <https://iiot-world.com/connected-industry/iic-industrial-iiot-reference-architecture/>.

Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

Heluane, H., Colombo, M., Ingaramo, A., Hernandez, M.R., Cesca, M. (2001). Multiple-effect evaporation in a sugar factory. A measured variables study. *Latin American Applied Research*, 31(5), 519—524.

Lin, X., Lei, S., Song, C., Song, S., Liu, D. (2008). ADHDP for the pH value control in the clarifying process of sugar cane juice, *Advances in Neural Networks — ISNN 2008*. ISNN 2008. Lecture Notes in Computer Science, 796—805. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-87732-5_88.

Lin, X., Yang, J. (2009). HDP for the Neutralized pH Value Control in the Clarifying Process of Sugar Cane Juice, *AIP Conference Proceedings*, 1127, 162—173. <https://doi.org/10.1063/1.3146188>.

Lutska, N. M., Zaiets, N. A., Vlasenko, L. O., Shtepa, V. M., Savchuk, O. V. (2021). Forecasting the Efficiency of the Control System of the Technological Object on the Basis of Neural Networks, *IEEE 20th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremen chuk. <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598540>.

Oktarini, D., Mohruni, A. S., Sharif, S., Yanis, M., Madagaskar. (2019). Optimum Milling Parameters of Sugarcane Juice Production Using Artificial Neural Networks (ANN). *Journal of Physics Conference Series*, 1167(1):012016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1167/1/012016>.

Pileggi, P., Verriet, J., Broekhuijsen, J., Van Leeuwen, C., Wijbrandi, W., Konsman, M. (2019). A digital twin for cyber-physical energy systems, 7th Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems. IEEE Catalog Number: CFP1994U-ART. <https://doi.org/10.1109/MSCPES.2019.8738792>.

Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., Nee, A. Y. C. (2021). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 3—21. —<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>.

Snijders, R., Pileggi, P., Broekhuijsen, J., Verriet, J., Wiering, M., Kok, K. (2020). Machine learning for digital twins to predict responsiveness of cyber-physical energy systems, 8th Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems. IEEE Catalog Number: CFP2094U-ART, 1–6. <https://doi.org/10.1109/MSCPES49613.2020.9133695>.

Soares, R. M., Camara, M. M., Feital T., Pinto, J.C. (2019). Digital twin for monitoring of industrial multi-effect evaporation. *Processes*, 7(8), 537. <https://doi.org/10.3390/pr7080537>.

Soonhung, H. (2020). A review of smart manufacturing reference models based on the skeleton meta-model. *Journal of Computational Design and Engineering*, 7(3), 323—336. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaa027>.

Zaiets, N., Vlasenko, L., Lutska, N., Shtepa, V. (2022). Resource Efficiency Forecasting Neural Network Model for the Sugar Plant Diffusion Station, Conference on Automation, 151—161, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-03502-9_16.

Zaiets, N. A., Savchuk, O. V., Shtepa, V. M., Lutska, N. M., Vlasenko, L. O. (2021). The synthesis of strategies for the efficient performance of sophisticated technological complexes based on the cognitive simulation modelling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 110—117. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/110>.

DEVELOPMENT OF MEASURES FOR OPERATIONAL IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR FOODSTUFF PRODUCTION ENTERPRISES

K. Shynkariuk, B. Pashchenko, L. Arsenieva

National University of Food Technologies

Key words:

*Operational improvement
Lean manufacturing
Food production
management
Optimization of the
technological process*

Article history:

Received 03.05.2023
Received in revised form
24.05.2023
Accepted 12.06.2023

Corresponding author:

K. Shynkariuk
E-mail:
kristinashunkaruik@gmail.
com

Citation: Шинкарюк К. В.,
Пашченко Б. С., Арсеньє-
ва Л. Ю. (2023). Розроб-
лення заходів операцій-
ного вдосконалення тех-
нологічних процесів для
операторів ринку харчо-
вої продукції. *Наукові
праці НУХТ*, 29(3),
19—32.

DOI: 10.24263/2225-
2924-2023-29-3-4

ABSTRACT

Lean manufacturing is a production management concept designed to eliminate losses and optimize business processes. It covers the entire life cycle of a food product: from the development and production stage to interaction with suppliers and customers. Its element is the concept of "operational improvement", it is based on creating effective business processes and involving every employee in the process of continuous improvement. It includes a wide range of tools designed for improving the efficiency of operational and manufacturing management activities. The peculiarity of this concept is its easy application to any technological process of foodstuff production. This is an undeniable advantage in today's challenging environment. That is why it was chosen by the authors for further research and implementation.

The technological process of preparation of peanuts at the stages of packaging and storage in the warehouse was optimized in this work, the. The following lean manufacturing tools were used to achieve this goal: concept of operational improvement, value stream mapping, 5S system, standard operations map, A3 report. Schematic production plans with demonstration of product flows and employee movement patterns were developed in order to clarify and detail the received information.

The analysis and processing of the received information made it possible to identify subprocesses that do not represent production value. A number of measures and improvements proposed by the authors reduced their duration by 38%.

The proposed operational improvement measures resulted in the following enhancement: fast identification and shipment of necessary raw materials and packaging materials by workers; reduction of repeatability subprocesses of the packaging stage; eliminated the problem of unnecessary transportation of raw materials, auxiliary materials and personnel movement; freeing up 50% of the warehouse space for additional needs; increasing the efficiency of the packaging stage by up to 68%; reducing the total processing time of one packaged portion of raw materials and order fulfillment time.

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ОПЕРАЦІЙНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ОПЕРАТОРІВ РИНКУ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

К. В. Шинкарьук, Б. С. Пашенко, Л. Ю. Арсеньєва

Національний університет харчових технологій

Ощадливе виробництво – це концепція менеджменту виробництва, що спрямована на усунення втрат і оптимізацію бізнес-процесів. Вона охоплює увесь життєвий цикл харчового продукту: від етапу розробки та його виробництва до взаємодії з постачальниками та клієнтами. Його елементом є концепція операційного вдосконалення, яка базується на створенні ефективних бізнес-процесів і залученні кожного співробітника в процес безперервних покращень. Операційне вдосконалення включає в себе широкий набір інструментів, який призначений підвищити ефективність операційної й управлінської діяльності виробництва. Особливість концепції полягає в легкому застосуванні до будь-якого технологічного процесу виробництва харчових продуктів, що є беззаперечною перевагою в сучасних складних умовах. Саме тому її було обрано авторами для подальшого дослідження та впровадження.

У статті проведено оптимізацію технологічного процесу підготовки арахісу на етапах пакування та зберігання його в складському приміщенні. Для досягнення мети були використані такі інструменти ощадливого виробництва: концепція операційного вдосконалення, карта потоку створення цінностей, система 5S, карта стандартних операцій, звіт А3. Також було розроблено схематичні плани виробництва з демонстрацією потоків виробничого руху продукту та схемою руху працівників з метою уточнення та деталізації отриманої інформації.

Аналіз та обробка отриманої інформації дав змогу виявити підпроцеси, що не становлять виробничої цінності. Ряд запропонованих авторами заходів і покращень зменшив їх тривалість на 38%.

Запропоновані заходи операційного вдосконалення призвели до таких покращень: швидкої ідентифікації та вивантаження необхідної сировини й пакувальних матеріалів робітниками; зменшення повторюваності підпроцесів етапу пакування; усунуто проблему зайвого транспортування сировини, допоміжних матеріалів і переміщення персоналу; звільнення 50% площі складського приміщення під додаткові потреби; збільшення ефективності етапу пакування до 68%; зменшення загального часу обробки однієї фасованої порції сировини й тривалості виконання замовлення.

Ключові слова: операційне вдосконалення, ощадливе виробництво, управління харчовим виробництвом, оптимізація технологічного процесу.

Постановка проблеми. Конкурентні внутрішні та світові ринки зазнали значних змін за останні роки. Розвиток технологій, соціальні зрушення, зміна очікувань клієнтів, пандемія SARS-CoV-2, надзвичайні стани у певних регіонах змусили організації впровадити нові підходи. Більш високі очікування клієнтів щодо

вироблених товарів і отриманих послуг створили гостру конкуренцію між організаціями та зробили неминучим використання будь-яких можливих засобів, які могли б дати їм конкурентну перевагу.

Ефективність харчової промисловості визнається одним із основних компонентів економічного розвитку в будь-якій країні. Особливо гостро це питання постає на теренах України в умовах військового стану. Виробники прагнуть задовольнити потреби клієнтів, оптимально використовуючи людські ресурси й обладнання в процесі створення вартості. Тому важливо визначити проблеми та виклики, з якими стикаються оператори ринку харчової продукції у цій галузі, а також розробити рішення та реалізувати нові підходи для їх покращення або подолання. Витрати на виробничі процеси складають значну частину загальних витрат харчової промисловості. Їх зменшення має прямий вплив на економічне становище організацій (Anderson, Yoshino, & Shook, 2020).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із управлінських підходів є ощадливе (англ. lean) виробництво — загальна концепція менеджменту, спрямована на усунення втрат і оптимізацію бізнес-процесів: від етапу розробки харчового продукту, його технологічного процесу виробництва до взаємодії з постачальниками та клієнтами (Womack, & Jones, 2018). Управління ощадливим виробництвом орієнтоване на виявлення потреб ринку та створення максимальної цінності для замовника при мінімальних витратах ресурсів: людських зусиль, обладнання, часу, виробничого простору тощо. Ощадливе виробництво є основою нової філософії та підходу до управління виробництвом, його потенціалом і ресурсами (Eskandari, Hamid, Masoudian, & Rabbani, 2022).

Концепцію ощадливого виробництва розкрито в працях багатьох провідних дослідників і практиків: Т. Оно, Дж. Шука, Д. Лайнера, Д. Джонсона, М. Вейдера, Д. Вумека, С. Сінго, О. Ольшанського, М. Мироненка, Л. Мельника. Практично всі науковці зазначають, що повністю уникнути втрат у процесі виробництва та управління компанією неможливо, але існує велика кількість методів, методик і концепцій, застосування яких дає змогу мінімізувати втрати, брак та виробничі відходи, витрати ресурсів і часу (Womack, & Jones, 2018).

Нині українські підприємства змушені вести свою діяльність в умовах військового стану, що призводить до невизначеності їхнього становища. Підприємства не можуть здійснювати довготривале планування; логістика сировини та готової продукції на територію бойових дій майже неможлива; виникають обмеження у використанні електроенергії; необхідне врахування комендантських годин при роботі змін тощо. У складні часи підприємства шукають способи для виживання, відновлення, реорганізації та релокації. У періоди спаду й депресії організації переосмислюють свою роботу, щоб через модернізацію та зміни забезпечити відновлення та позитивний стрибок у показниках ефективності, продуктивності та якості виробництва. Застосування методології ощадливого виробництва допомагає адаптуватися до реалій сьогодення та підвищити ефективність роботи підприємства (Leksic, Stefanic, & Veza, 2020).

США, Китай, Японія, Німеччина, Велика Британія та інші провідні країни-виробники успішно застосовують методи ощадливого виробництва, саме тому їм вдається займати провідні позиції на світовому ринку в різних сферах діяльності,

зокрема у виробництві харчової продукції (Cabrera, Corpus, Maradiegue, & Álvarez, 2020).

З вищезазначеного випливає, що все більш жорстка конкуренція та умови військового стану підвищили інтерес керівників підприємств до ощадливого виробництва (Lancaster, Adams, & Womack, 2017; Lancaster, 2017) як інструменту виходу оператора ринку з кризових ситуацій, а також дієвого способу як за мінімальних інвестицій покращити якість продукції, продуктивність, ефективність праці, виробництва та забезпечити сталий розвиток підприємства.

Ефективним у цьому контексті є застосування елемента ощадливого виробництва — концепції операційного вдосконалення як важливого аспекта для сталого розвитку, збереження і підвищення конкурентоспроможності виробництва (Osokina, & Sklym, 2022). За своєю суттю — це система менеджменту, яка базується на створенні досконалих бізнес-процесів і залученні кожного співробітника в процес безперервних покращень (Shvets, Pakharensko, & Andriitso-Ruzaieva, 2020). Вона включає в себе широкий інструментарій, спрямований на підвищення ефективності операційної та управлінської діяльності виробництва (Moskvicheva, Mukhametshina, Erofeyev, & Savelyev, 2020), зокрема на гнучкість, швидкість реагування на зовнішні зміни та виклики, а також досягнення найвищих показників ефективності оператора ринку (Jimenez, та ін., 2019; Palange, & Dhatrak, 2021). Особливістю концепції є те, що її легко застосувати до будь-якого технологічного процесу виробництва харчових продуктів завдяки широкому спектру заходів і засобів (Tortorella, & Cauchick-Miguel, 2018). Тому авторами було обрано саме цей засіб для дослідження та впровадження у виробництво оператора ринку харчової продукції.

Об'єктом дослідження був обраний технологічний процес підготовки арахісу при виробництві арахісової пасти для оператора ринку харчової продукції ПрАТ «ТОМ» (The Food Company TOM: Production and delivery of peanut butter paste, 2022), адже підприємство є базовим для проходження практики (виробнича, переддипломна) здобувачами спеціальності 181 «Харчові технології».

Мета дослідження: розроблення заходів з операційного вдосконалення технологічного процесу оператора ринку харчової продукції на прикладі процесу підготовки арахісу при виробництві арахісової пасти для ПрАТ «ТОМ».

Матеріали і методи. Для проведення операційного вдосконалення було ретельно досліджено та проаналізовано всі стадії технологічного процесу виготовлення арахісової пасти та використано набір інструментів ощадливого виробництва, зокрема на основі процесу підготовки основної сировини (арахісу) запропоновано карти потоку створення цінностей (картування виробничого потоку) та стандартних операцій (стандартизації процесів) (Pérez-Pucheta, та ін., 2019), застосовано систему 5S, розроблено звіт АЗ (Shook, & Womack, 2008).

Викладення основних результатів дослідження. На рис. 1 наведена карта потоку поточного стану створення цінностей при підготовці арахісу. Це інструмент, який візуалізує процес перетворення сировини в готову продукцію, що відпускається споживачам, враховуючи кожний, навіть найдрібніший підетап виробництва. Карта допомагає визначити кроки, які не додають цінності і підлягають усуненню, а також слабкі місця, де процес можна поліпшити: прискорити, знизити витрати і забезпечити більш безпечні умови праці.

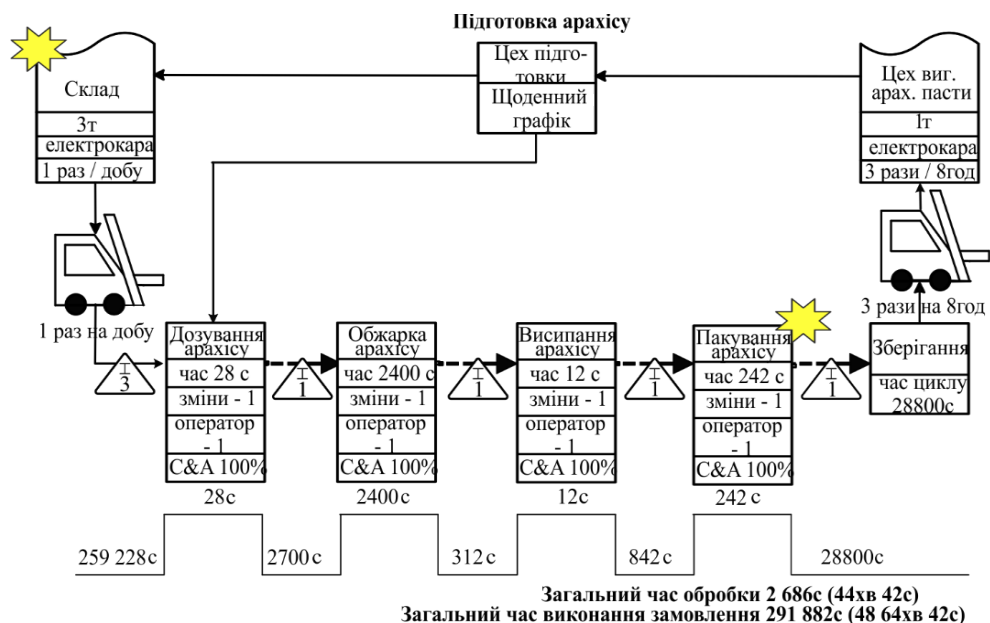


Рис. 1. Карта потоку поточного стану технологічного процесу підготовки арахісу

Карта передбачає збір та аналіз даних із кількох блоків (потоків):

1. *Матеріальний або процесний потік* — традиційна блок-схема, в якій зліва направо фіксується шлях створення цінності, починаючи закупівлею сировини і закінчуючи відвантаженням продукції. Якщо, крім основного процесу, існують додаткові або допоміжні, вони наносяться під основним. Таким чином основні завдання відділяються від другорядних.

2. *Інформаційний або комунікаційний потік* — у верхній частині карти потоку створення цінності стрілками зображуються потоки інформації, які надходять паралельно з виробництвом. Враховується і формальний, і неформальний обмін даними. Інформаційні потоки наносяться на карту у вільній формі, оскільки вони відбуваються насправді.

3. «Timeline і відстані» — лінії, які малюються в нижній частині карти. Лінія часу ділиться на верхню і нижню частини. Зверху відображається «lead time» — час очікування. Знизу наноситься тривалість циклу. Під лінією часу може перебувати ще одна лінія, в самому низу, яка показує відстані, за якими продукт або персонал рухаються всередині процесу.

Інформаційний потік. Споживачем підготовленого арахісу на ПрАТ «ТОМ» є цех виготовлення арахісової пасти. За робочу восьмигодинну зміну здійснюється транспортування 1 т підготовленого арахісу. Постачальником арахісу є склад. Транспортування сировини масою 3 т здійснюється електрокаром один раз на добу. Було проаналізовано роботу цеху підготовки арахісу. Виявлено, що інформація щодо необхідної кількості арахісу передається вручну від цеху виготовлення арахісової пасти до цеху підготовки арахісу, а потім до складського приміщення. Інформація щодо необхідної кількості виготовлення сировини надходить працівнику електронним шляхом згідно зі щоденним графіком.

Матеріальний потік. Зі складу подається сировина на процес дозування. Міжопераційні запаси становлять 3 тонни. Підприємство працює в одну зміну. Після процесу дозування арахісу міжопераційні запаси становлять 1 тонну. Тривалість технологічних етапів: обжарювання арахісу триває 2400 с, висипання арахісу — 12 с, пакування арахісу — 242 с, зберігання — 28800 с (8 год).

Загальний час обробки однієї фасованої порції сировини становить 2682 с (44 хв 42 с), а загальний час виконання замовлення — 291882 с (4864 хв 42 с).

Для визначення цінності з позиції клієнта (цеху з виробництва арахісової пасти) було проаналізовано етап пакування арахісу, реалізований у підготовчому цеху оператора ринку харчових продуктів ПрАТ «ТОМ». Згідно з аналізом цінними підетапами (підпроцесами) є наповнення поліетиленового пакета арахісом і його запакування, адже вони безпосередньо впливають на швидкість отримання клієнтом готової продукції. Витратами є транспортування та переміщення оператора за поліетиленовим пакетом. Всі інші підпроцеси необхідні, без них етап пакування не відбудеться. З позиції клієнта цінність етапу пакування арахісу наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Аналіз етапу пакування арахісу з позиції цінності для клієнта

№	Оператор	Вид дії	Операція	Деталь	Додаткова інформація	Час виконання
1	1	IWR	взяти	поліетиленовий пакет	для пакування арахісу	2
2	1	VA	наповнити	поліетиленовий пакет	арахісом	8
3	1	M	транспортувати	поліетиленовий пакет	до піддону	5
4	1	IWR	поставити	поліетиленовий пакет	на піддон	1
5	1	IWR	взяти	скотч	для пакування арахісу	1
6	1	VA	пакувати	поліетиленовий пакет	пакування здійснюється скотчем	2
7	1	IWR	поставити	скотч		1
8	1	M	йти	поліетиленовий пакет	піти до поліетиленового пакету	3
...	...	...	...	...	...	...
73	1	VA	наповнити	поліетиленовий пакет	арахісом	8
74	1	M	транспортувати	поліетиленовий пакет	до ємності з транспортером	7
75	1	IWR	висипати	арахіс	у ємність з транспортером	1

Примітка:

IWR	— необхідні дії;
M	— втрати;
VA	— цінність.

Діаграма, що ілюструє тривалості підпроцесів етапу пакування арахісу, наведена на рис. 2.

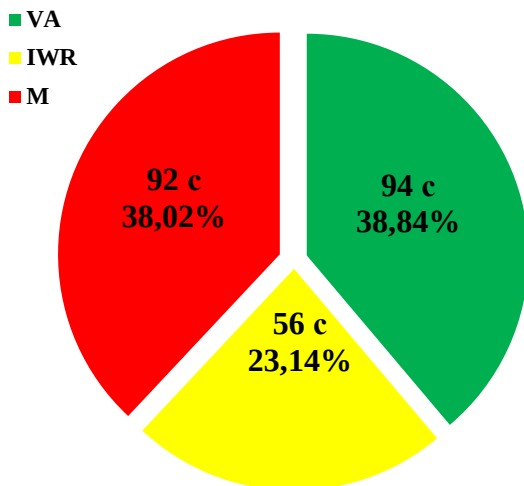


Рис. 2. Тривалість підпроцесів етапу пакування арахісу

При обробці даних, що наведені у табл. 1 та рис 2, обрахована тривалість підпроцесів: цінних — 94 с, необхідних — 56 с, тих, що не мають цінності та призводять до втрат, — 92 с. Загалом, тривалість етапу пакування арахісу становить 242 с, а при перерахунку ефективність складає всього 38,84%. Найбільшими за тривалістю є підпроцеси, цінні для клієнтів. Основними втратами під час етапу пакування є транспортування та непотрібне переміщення, що складає 92 с. Із цього впливає необхідність оптимізації цього етапу.

Для уточнення та деталізації отриманої інформації було складено схематичний план виробництва з демонстрацією потоків виробничого руху продукту та схемою руху працівників. Схематичний план складського приміщення та цеху підготовки арахісу наведений на рис. 3. Схематичний план зображено на відмітці нуль. На плані розміщено три приміщення: склад допоміжних і пакувальних матеріалів, цех підготовки арахісу та склад сировини. У першому приміщенні міститься велика кількість стелажів і піддонів для допоміжних і пакувальних матеріалів. У цеху підготовки арахісу міститься основне обладнання — обжарювальна машина, а також фотосепаратор, вологомір, пересувна ємність для арахісу, драбина та пульт управління. На складі сировини розміщується декілька стелажів, ємність і транспортер, за допомогою якого відбувається транспортування арахісу на наступний процес.

З аналізу схематичного плану можна зробити висновок, що в приміщенні складу допоміжних і пакувальних матеріалів піддони та стелажі розміщені неергономічно, що перешкоджає пересування персоналу та реалізації матеріальних потоків виробництва. Якщо оператору необхідний піддон з сировиною, що знаходиться між стележам та іншим піддоном з матеріалами, то йому спочатку необхідно електрокаром відвантажити піддон з першого ряду, щоб мати доступ до

піддона з другого ряду. Для того, щоб узяти пакувальні матеріали зі стелажу, який закритий двома рядами піддонів, виникає потреба їх відвантаження для отримання доступу та реалізації цього процесу.

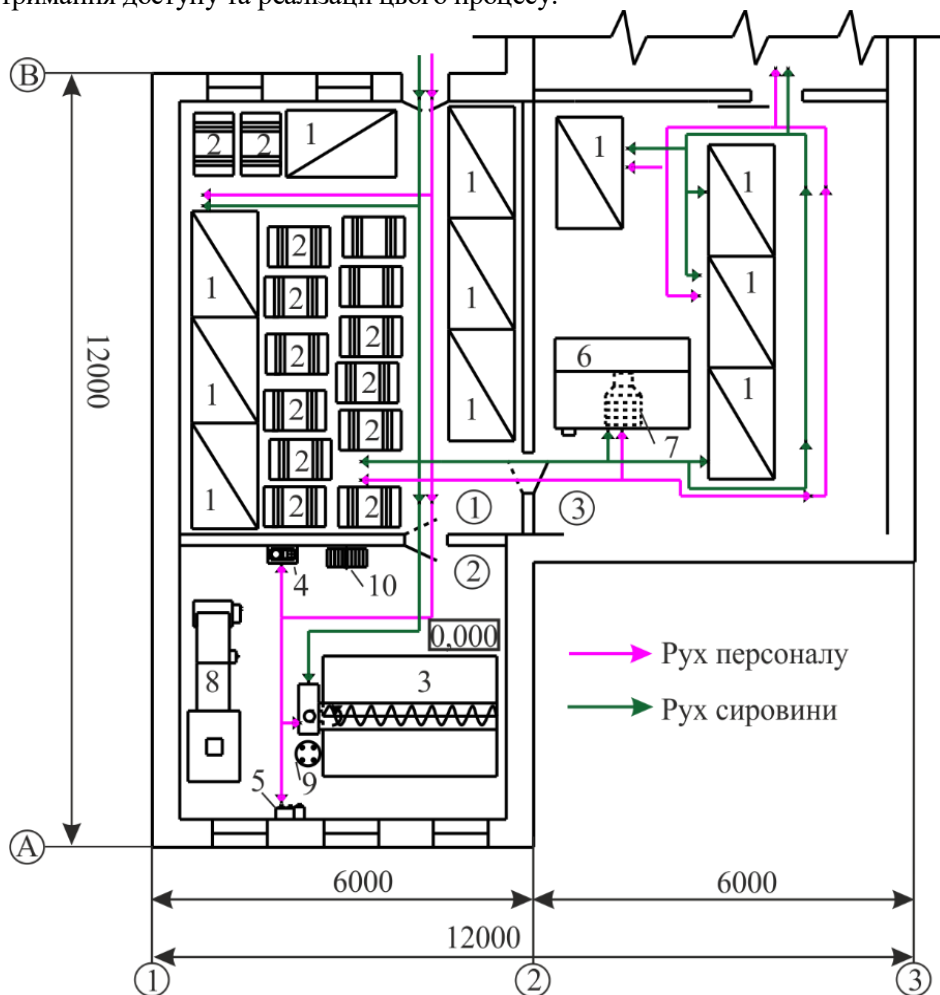


Рис. 3. Схематичний план складу та цеху підготовки арахісу:

① — склад допоміжних матеріалів; ② — цех підготовки арахісу; ③ — склад сировини;
1 — стелаж; 2 — піддон; 3 — обжарювальна машина; 4 — вологомір; 5 — пульт управління; 6, 9 — ємність; 7 — транспортер; 8 — фотосепаратор; 9 — пересувна ємність; 10 — драбина

У приміщенні складу сировини стелажі розміщені посередині доступного простору, що є незручним з точки зору операційної ефективності. Для здійснення доставки необхідної сировини зі стелажу, розміщеного на плані у верхньому лівому куті (приміщення № 3) в персоналу виникає необхідність зайвого переміщення вздовж усього складського приміщення.

При аналізі карти потоку цінності було ідентифіковано два етапи, на яких є втрати, пов'язані із зайвими переміщеннями та зайвою роботою. Причиною втрат

на етапі зберігання у складському приміщенні є неправильне розміщення стелажів і піддонів, що ускладнює працівникам швидку ідентифікацію необхідних матеріалів та їх отримання. На етапі пакування втрати виникають через невідповідний розмір пакувальних пакетів, що зумовлює велику повторюваність деяких допоміжних підпроцесів.

З метою реалізації оптимізації етапу зберігання сировини та допоміжних матеріалів у складському приміщенні застосовано систему 5S. Термін «5S» — скорочення від «5 steps», що включає в себе п'ять кроків: сортування, упорядкування, прибирання, стандартизацію та самовдосконалення. 5S є інструментом для забезпечення методології ощадливого виробництва шляхом раціоналізації робочого простору за допомогою маркування, зручного та ергономічного розташування обладнання, інвентарю, допоміжних засобів тощо. Завдяки своїй простоті й ефективності часто застосовується на початкових етапах удосконалення виробничої системи оператора ринку. Схематичний план оптимізованого складського приміщення та цеху підготовки арахісу наведений на рис. 4.

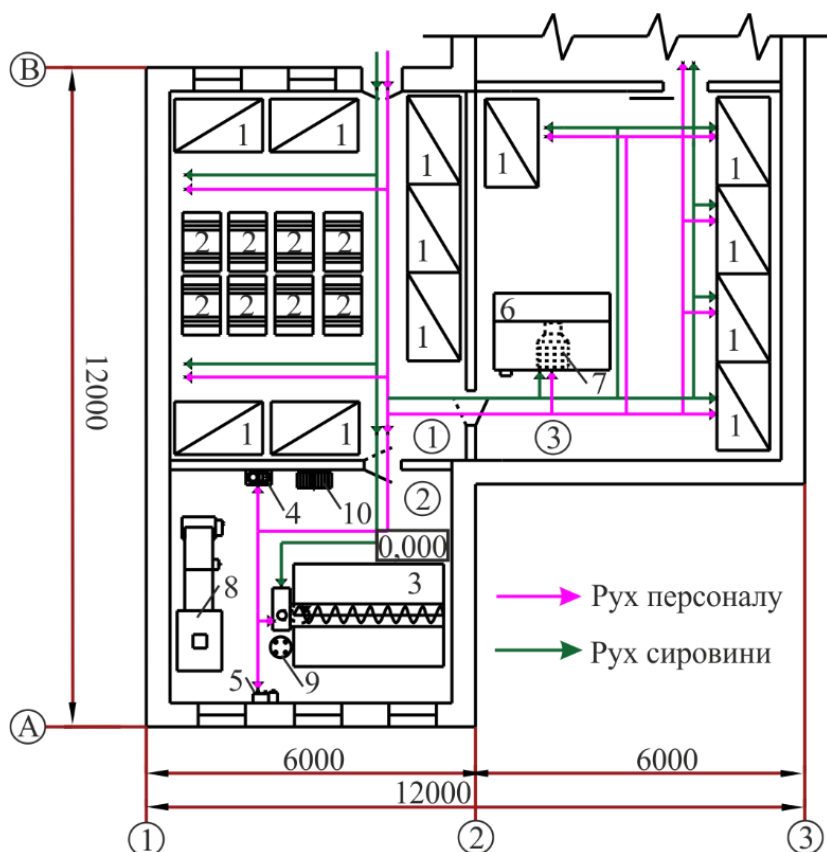


Рис. 4. Схематичний план оптимізованого складського приміщення та цеху підготовки арахісу: ① — склад допоміжних матеріалів; ② — цех підготовки арахісу; ③ — склад сировини; 1 — стелаж; 2 — піддон; 3 — обжарювальна машина; 4 — вологомір; 5 — пульт управління; 6, 9 — ємність; 7 — транспортер; 8 — фотосепаратор; 9 — пересувна ємність; 10 — драбина

Запровадження п'яти кроків системи 5S призвело до зменшення кількості піддонів — із 14 до 8, внаслідок чого збільшилась кількість стелажів — із 11 до 12. У приміщенні № 1 стелажі та піддони були розміщені таким чином, щоб забезпечити швидке, без додаткових маніпуляцій отримання необхідної сировини або пакувального матеріалу. При цьому збільшилась відстань між стелажми та піддонами, що дало змогу здійснювати полегшене та пришвидшене відвантаження необхідного піддона.

У приміщенні № 3 ряд стелажів розміщувався посередині, що призводило до вимушеного збільшення шляху та часу переміщення персоналу з метою потрапляння в сусіднє виробниче приміщення, тому було прийнято рішення щодо його переміщення ближче до стіни. Це дало змогу вирішити проблему.

Для оптимізації етапу пакування арахісу використали карту стандартних операцій. Стандартизація процесів — це точне документування найкращого способу виконання операції з метою закріплення найбільш ефективних методів роботи, послідовності її етапів, усунення необхідності постійного пошуку безпосередніми учасниками виробничих процесів оптимальних способів виконання роботи та оцінки її якості. Результатом стандартизації є розробка стандарту правильного виконання дій, його частина для етапу пакування арахісу наведена у табл. 2.

Таблиця 2. Карта стандартних підпроцесів етапу пакування арахісу

№ СОК		125				
Назва операції		Пакування арахісу	Погоджено та затверджено			
Дата затвердження СОК		_____	Відділ, посада	ППП	підпис	
Дата перегляду СОК		_____				
Розробник СОК		Відділ стандартизації	Начальник відділу стандартизації			
Важливі характеристики СОК						
№	Дії, які потрібно виконати	Особливості виконання дій	Чому саме так?	Додаткові інструменти та засоби	Контроль правильності виконання дії	Час виконання, с
1	Взяти поліетиленовий пакет	Взяти поліетиленовий пакет відповідного розміру	Якщо взяти пакет невідповідного розміру, збільшиться кількість разів його наповнення	—		2
2	Наповнити поліетиленовий пакет	Черпаком зачерпнути арахіс та висипати у пакет	—	Черпак	Контроль за рівнем наповнення	24
...	...	...	...	...	...	...

24	Висипати арахіс з пакета	Рівномірно висипати арахіс у ємність	Щоб арахіс не висипався з ємності	—		1
Загальний час виконання:						150

При пакуванні арахісу виникала необхідність десятикратного повторення працівником операцій взяття поліетиленового пакета невідповідного розміру, його наповнення, транспортування. Як наслідок, було запропоновано використання чотирьох пакетів більшого розміру, що дало змогу зменшити повторюваність процесів до шести разів — на 40% відповідно. Внаслідок транспортування семи пакетів на піддон втрачалося 35 с операційного часу, тому раціональним рішенням стало його переміщення до пересувної ємності. Діаграма, що ілюструє тривалість оптимізованих підпроцесів етапу пакування арахісу, наведена на рис. 6.

Завдяки стандартизації етапу пакування арахісу тривалість виконання зменшилась із 242 с до 150 с — на 92 с або 38% відповідно. Тривалість операцій, що несуть цінність, збільшилась з 94 с до 102 с — на 4%; тих, що не мають цінності, зменшилась із 92 с до 21 с — на 77%, а необхідних операцій змінилася із 56 до 27 с — на 52% відповідно. Ефективність етапу пакування арахісу становить 68%, що відповідає її збільшенню в 1,75 раза, адже до застосування операційного вдосконалення вона становила 38,84% (рис. 5).

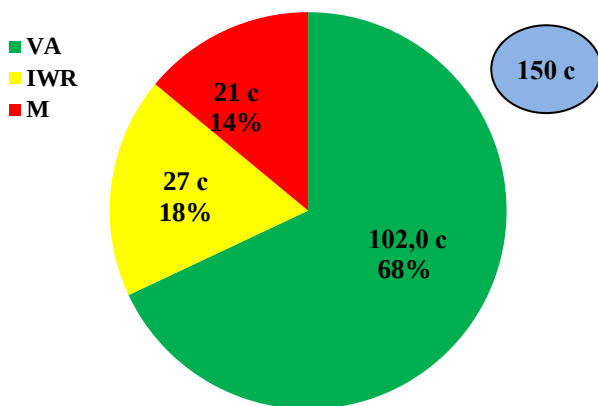


Рис. 5. Тривалість оптимізованих підпроцесів етапу пакування арахісу

Унаслідок застосування системи 5S на етапі зберігання у складському приміщенні та карти стандартизації дій етапу пакування арахісу карта потоку зазнала змін. Карта майбутнього стану потоку цінності при підготовці арахісу наведена на рис. 6.

За результатами проведеної роботи було складено звіт АЗ — наочний інструмент lean-виробництва, що дає змогу вирішувати вже наявні проблеми та завдання, які вимагають рішення. Інформація, представлена в ньому, відповідає логіці та методології ефективного вирішення проблеми операційного вдосконалення виробничих процесів. Звіт АЗ, розроблений для оператора ринку харчових продуктів ПрАТ «ТОМ», наведений у табл. 3.

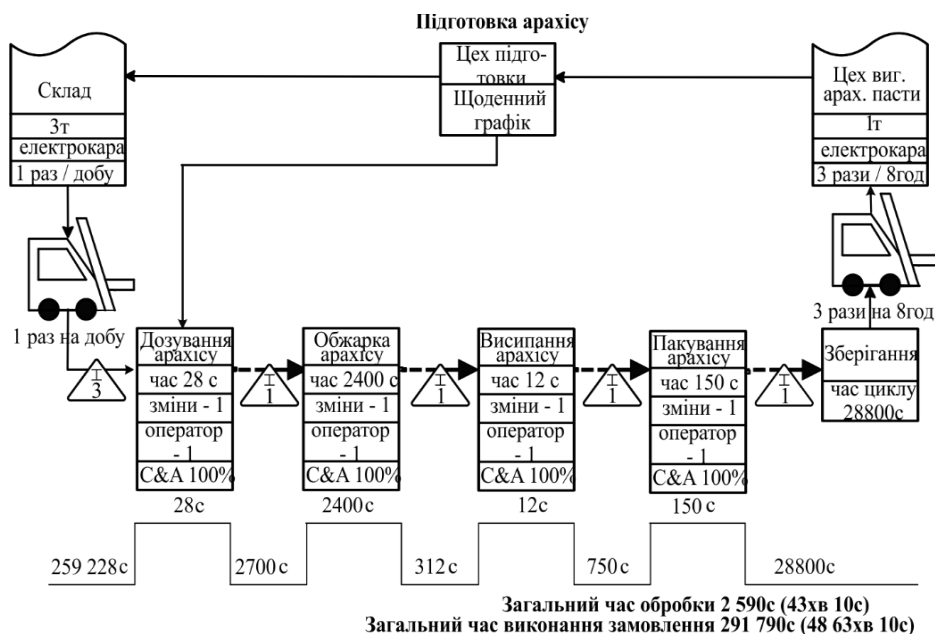


Рис. 6. Карта потоку майбутнього стану підготовки арахісу

Таблиця 3. Звіт АЗ

Назва	Покращення процесу підготовки арахісу	Розробники	Група впровадження lean-менеджменту	Дата	
1	Опис проблеми	4	Пошук першопричин (причинно-наслідковий аналіз)		
Відповідно до карти потоку стану підготовки арахісу зрозуміло, що на етапі пакування є проблеми, адже процес досить тривалий (242 с). Тому було проаналізовано процес пакування арахісу з позиції клієнта і виявлено низьку ефективність процесу, яка становить 38,84% (рис. 1).		При огляді складу було виявлено, що піддони та стелажі розміщені дуже близько один до одного. Це не дає змоги швидко ідентифікувати та вивантажити необхідну сировину й матеріали, що впливає на загальну тривалість процесів. При спостереженні за роботою працівника виявлено, що сім разів він здійснює одну й ту саму дію через недостатню ємність поліетиленового пакета.			
Також проблемою є повільна ідентифікація та вивантажування необхідної сировини або пакувального матеріалу при зберіганні на складі. Це впливає на тривалість виконання замовлення, як результат підприємство втрачає клієнтів та кошти (рис. 2).		5 Розроблення контрзаходів План розміщення стелажів на складі зберігання та план цеху обжарювання арахісу (рис. 3, 7). Для операційного вдосконалення процесу пакування арахісу розробити карту стандартних процесів пакування арахісу (табл. 2).			

2	Поділ проблеми та виявлення проблем, що можуть бути усунуті негайно	6	Реалізація контрзаходів і заміри результатів
	Проблемою на етапі зберігання на складі допоміжних і пакувальних матеріалів є неправильне розміщення піддонів та стелажів. Згідно з аналізом процесу пакування з позиції клієнта, втрати на транспортування та ходіння за поліетиленовим пакетом становлять 92с (38,02%).		Результатом впровадження системи 5S є швидка ідентифікація та вивантажування необхідної сировини чи пакувального матеріалу. Після впровадження карти стандартних операцій етапу пакування арахісу ефективність процесу збільшилась з 38,84% до 68%. Загальна тривалість змінилась з 242 с до 150 с, витрати з 92 с до 21с (рис. 6).
3	Цілі	7	Стандартизація
	1. Розроблення заходів lean-виробництва для вдосконалення процесу зберігання на складі. 2. Розроблення заходів lean-виробництва для операційного вдосконалення етапу пакування арахісу. 3. Збільшення ефективності етапу пакування.		Провести навчання персоналу за розробленою СОП № 125 на етап пакування арахісу. Для того, щоб розроблені заходи для працівників стали звичкою, а не одноразовими зусиллями, необхідно стандартизувати розроблені заходи. Для підтримки процесу зберігання на складі та здійснення етапу пакування арахісу на належному рівні необхідно навчати персонал, удосконалювати процеси, переглядати вимоги при зменшенні ефективності.

Висновки

Задля досягнення поставленої мети при розробці заходів з операційного вдосконалення технологічного процесу операторів ринку харчової продукції було проаналізовано й оптимізовано технологічний процес підготовки арахісу для ПрАТ «ТОМ». На прикладі розглянутого виробництва харчових продуктів показано, що концепція операційного вдосконалення та інструменти її реалізації можуть бути застосовані до будь-якого технологічного процесу, що, у свою чергу, призведе до підвищення його якості, продуктивності та конкурентоспроможності і є беззаперечною перевагою в складних умовах сьогодення. Результатами впровадження розроблених заходів є:

- швидке виконання дій працівника щодо ідентифікації та вивантажування необхідної сировини чи пакувального матеріалу без додаткових маніпуляцій;
- зменшення повторюваності підпроцесів етапу пакування на 40% унаслідок використання більших поліетиленових пакетів;
- запобігання зайвого транспортування сировини, допоміжних матеріалів і переміщення персоналу шляхом ефективного й ергономічного розташування стелажів і піддонів у допоміжному приміщенні № 3;
- можливість застосування допоміжного приміщення № 1 для інших етапів виробничого процесу за рахунок звільнення площі приміщення на 50%;
- збільшення ефективності етапу пакування з 38,84 до 68%;
- розроблення та застосування заходів операційного вдосконалення дало змогу зменшити загальний час обробки однієї фасованої порції сировини із 44 хв

42 с до 43 хв 10 с, а загальний час виконання замовлення — із 4864 хв 42 с до 4863 хв 10 с.

Слід зауважити, що успішність впровадження концепції операційного вдосконалення найбільше залежить від того, наскільки глибоко вона інтегрована у виробничі процеси підприємства. Тому подальшого дослідження потребує і сам процес інтеграції концепції операційного вдосконалення, а також його ключові точки та показники, що характеризують ефективність цієї інтеграції.

Література

Anderson, K., Yoshino, I., & Shook, J. (2020). *Learning to Lead, Leading to Learn: Lessons from Toyota Leader Isao Yoshino on a Lifetime of Continuous Learning*. Integrand Press. ISBN: 1734850604.

Bicheno, J. R., & Holweg, M. (2016). *The Lean Toolbox 5th Edition: A Handbook for Lean Transformation*. Picsie Books. ISBN: 9780956830753.

Cabrera, J. L., Corpus, O. A., Maradiegue, F., & Álvarez, J. C. (2020). Improving quality by implementing lean manufacturing, SPC, and HACCP in the food industry: a case study. *South African Journal of Industrial Engineering*, 31(4), 194-207. doi:10.7166/31-4-2363.

Eskandari, M., Hamid, M., Masoudian, M., & Rabbani, M. (2022). An integrated lean production-sustainability framework for evaluation and improvement of the performance of pharmaceutical factory. *Journal of Cleaner Production*, 376, 134—132. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134132.

Jimenez, G., Santos, G., Sá, J. C., Ricardo, S., Pulido, J., Pizarro, A., & Hernández, H. (2019). Improvement of productivity and quality in the value chain through lean manufacturing — a case study. *Procedia manufacturing*, 41, 882—889. doi: 10.1016/j.promfg.2019.10.011.

Lancaster, J. (2017). Leadership in the Lean style. *The way to continuous improvement of your business*. K. Fund. ISBN: 978-966-136-450-8.

Lancaster, J., Adams, E., & Womack, J. (2017). *The Work of Management: A Daily Path to Sustainable Improvement*. Lean Enterprise Institute Inc. ISBN: 1934109029.

Leksic, I., Stefanic, N., & Veza, I. (2020). The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1), 81-92. doi: 10.14743/apem2020.1.351.

Moskvicheva, E. L., Mukhametshina, A. M., Erofeyev, A. N., & Savelyev, K. V. (2020). Lean manufacturing — a method of managing a manufacturing enterprise. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 4(862), 42—51. doi: 10.1088/1757-899X/862/4/042051.

Palange, A., & Dhattrak, P. (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46, 72—736. doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.193.

Pérez-Pucheta, C. E., Olivares-Benitez, E., Minor-Popocatl, H., Pacheco-García, P. F., & Pérez-Pucheta, M. F. (2019). Implementation of lean manufacturing to reduce the delivery time of a replacement part to dealers: A case study. *Applied Sciences*, 9(18), 39—62. doi: 10.3390/app9183932.

Shook, J., & Womack, J. (2008). *Managing to Learn: Using the A3 Management Process to Solve Problems, Gain Agreement, Mentor and Lead*. Lean Enterprise Institute Inc. ISBN: 1934109207.

Shvets, F. D., Pakharenko, O. V., & Andriitso-Ruzaieva, A. Y. (2020). Tools of the Lean manufacturing methodology as an integral part of the enterprise's activities optimization. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*, 2(90), 248—259. doi: 10.31713/ve2202023.

The Food Company TOM: Production and delivery of peanut butter paste (2022). Взято з: <https://maslotom.com/peanut-butter>.

Tortorella, G., & Cauchick-Miguel, P. (2018). Combining traditional teaching methods and PBL for teaching and learning of lean manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 915-920. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.465.

Womack, J., & Jones, D. (2018). *Lean manufacturing*. Fabula. ISBN: 978-617-09-3892-3.

Osokina, A., & Sklym, M. (2022). Operational improvement system as a tool for continuous improvement of the company's business processes. *Economy and society*, (45). doi: 10.32782/2524-0072/2022-45-70.

INFLUENCE OF COMPETITIVE EUKARYOTIC MICROORGANISMS ON THE SYNTHESIS AND PROPERTIES OF SECONDARY METABOLITES. PART 1. MICROMYCETES AS REGULATORS OF THE SYNTHESIS AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF SECONDARY METABOLITES

T. Pirog, M. Parfeniuk

National University of Food Technologies

Key words:

Combined cultivation
Inductor
Fungi
Antimicrobial compounds

Article history:

Received 04.05.2023
Received in revised form
15.05.2023
Accepted 29.05.2023

Corresponding author:

T. Pirog
E-mail:
tapirog@nuft.edu.ua

Citation: Пирог Т. П., Парфенюк М. А. (2023). Вплив конкурентних еукаріотичних мікроорганізмів на синтез та властивості вторинних метаболітів. Частина 1. Мікроміцети як регулятори синтезу та біологічної активності вторинних метаболітів. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 33—49. DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-5

ABSTRACT

A serious problem today is the large number of antibiotic-resistant microorganisms and the rapid appearance of new resistance mechanisms in them, which leads to the emergence of polyresistant strains insensitive to the action of known antibiotics. This situation stimulated the search for new non-toxic environmentally friendly antimicrobial metabolites of natural origin. The strategy of co-cultivation of the producer with competitive microorganisms, or the introduction of so-called biological inductors into the culture medium is a simple and highly effective tool that allows not only to increase the synthesis of the final product and enhance its antimicrobial activity, but also to ensure the formation of new, not typical for monocultures, biologically active substances as a result of activation of silent clusters of biosynthetic genes. Usually, living or inactivated bacterial cells are inductors, but in recent years, the number of studies on the using eukaryotic inductors has increased. The analyzed literature data indicate that the combined cultivation of secondary metabolites producers with competitive micromycetes, or the introduction into the medium of live cells or supernatant after the fungi cultivation, although accompanied by an increase in the synthesis of final products, but their concentration was enough low, which significantly limits the possibility of practical application. In addition, in most of the works, the authors did not study the biological activity of the synthesized secondary metabolites. Since their biological activity may change depending on the conditions of cultivation, there are no guarantees that the products synthesized in the presence of micromycetes will be characterized by the properties necessary for practical use.

ВПЛИВ КОНКУРЕНТНИХ ЕУКАРІОТИЧНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ НА СИНТЕЗ І ВЛАСТИВОСТІ ВТОРИННИХ МЕТАБОЛІТІВ. ЧАСТИНА 1. МІКРОМІЦЕТИ ЯК РЕГУЛЯТОРИ СИНТЕЗУ ТА БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ВТОРИННИХ МЕТАБОЛІТІВ

Т. П. Пирог, М.А. Парфенюк

Національний університет харчових технологій

Серйозною проблемою сьогодення є велика кількість антибіотикорезистентних мікроорганізмів і швидка поява у них нових механізмів стійкості, що призводить до виникнення полірезистентних штамів, нечутливих до дії відомих антибіотиків. Така ситуація стимулювала пошук нових нетоксичних екологічно безпечних антимікробних метаболітів природного походження. Стратегія спільного вирощування продуцента з конкурентними мікроорганізмами, або внесення у середовище культивування так званих біологічних індукторів є простим і вискооефективним інструментом, що дає змогу не тільки підвищити синтез цільового продукту і посилити його антимікробну активність, а й забезпечити утворення нових, нехарактерних для монокультур біологічно-активних речовин у результаті активації мовчазних кластерів біосинтетичних генів. Зазвичай, індукторами є живі або інактивовані клітини бактерій, проте останніми роками збільшується кількість досліджень щодо використання еукаріотичних індукторів. Проаналізовані дані літератури свідчать про те, що комбіноване культивування продуцентів вторинних метаболітів з конкурентними мікроміцетами, або внесення у середовище живих клітин чи супернатанту після вирощування мікроміцетів, хоч і супроводжується підвищенням синтезу цільових продуктів, проте їх концентрація залишається недостатньо невисокою, що суттєво обмежує можливість практичного застосування. Крім того, у більшості праць автори не досліджували біологічну активність синтезованих вторинних метаболітів. Оскільки залежно від умов культивування їх біологічна активність може змінюватися, немає гарантій того, що синтезовані за наявності мікроміцетів продукти будуть характеризуватися необхідними для практичного використання властивостями.

Ключові слова: *комбіноване культивування, індуктор, гриби, антимікробні сполуки.*

Постановка проблеми. В останні роки зростання випадків антибіотикорезистентності в патогенних мікроорганізмів людини викликає глобальне занепокоєння, оскільки антибіотики невпинно втрачають ефективність у клінічних і природних умовах. На подолання такої проблеми спрямовано активний пошук і синтез препаратів, які б характеризувалися необхідними фармакокінетичними властивостями, були нетоксичними та метаболічно стабільними (Challinor, &

Bode, 2015; Wenciewicz, 2019). Прикладом природних метаболітів з антимікробною активністю можуть бути мікробні біодеградабельні поверхнево-активні речовини (ПАР) (Banat, De Rienzo, & Quinn, 2014; Díaz De Rienzo, Banat, Dolman, Winterburn, & Martin, 2015), зокрема, сурфактин (Xu та ін., 2022), який дослідники вважають потенційним терапевтичним засобом у боротьбі проти інфекцій, оскільки сполука виявляє антибактеріальну q антивірусну активність.

Проте недоліком мікробних вторинних метаболітів є залежність їхнього складу і біологічної активності від умов культивування продуцента. Одним із шляхів регуляції синтезу та властивостей таких продуктів мікробного синтезу є спільне культивування продуцентів з конкурентними мікроорганізмами (Marmann, Aly, Lin, Wang, & Proksch, 2014; Luo та ін., 2015; Xu та ін., 2023). Стратегія спільного вирощування мікроорганізмів є простим і високоефективним інструментом, що дає змогу не тільки підвищити синтез цільового продукту і посилити його антимікробну активність, а й забезпечити утворення нових, нехарактерних для монокультур біологічно-активних речовин в результаті активації мовчазних кластерів біосинтетичних генів (Dashti, Grkovic, Abdelmohsen, Hentschel, & Quinn, 2014; Ebrahim та ін., 2016; Wakefield, Hassan, Jaspars, Ebel, & Rateb, 2017; Yu та ін., 2019; Zawawi та ін., 2022).

Науковці припускають, що індукторами активації мовчазних генів можуть бути синтезовані одним із мікроорганізмів низькомолекулярні речовини, що слугують попередниками або субстратами, за наявності яких інший штам продукує нові вторинні метаболіти. З іншого боку, ці низькомолекулярні сполуки можуть бути сигнальними речовинами, які запускають синтез антимікробних речовин одним з штамів для подолання конкуренції і пригнічення іншого (Abdelmohsen та ін., 2015; Peng et al., 2021).

З кожним роком збільшується кількість публікацій щодо спільного культивування бактерій — продуцентів антимікробних речовин з мікроміцетами (DeFilippi, Groulx, Megalla, Mohamed, & Avis, 2018; Boruta, & Ścigaczewska, 2021; Atakpa та ін., 2022), або вирощування продуцента за наявності еукаріотичних (зокрема, мікроміцетних) індукторів (Sharma та ін., 2017; Fifani та ін., 2022) для підвищення синтезу цільового продукту (Ola, Thomy, Lai, Brötz-Oesterhelt, & Proksch, 2013; Zhang та ін., 2021; Boruta, Ścigaczewska, & Bizukojć, 2022), а також їх антибактеріальної та антифунгальної активності (Ola, Thomy, Lai, Brötz-Oesterhelt, & Proksch, 2013; Pan, Liu, Xu, Chen, & Cheng, 2021).

Мета статті: узагальнення даних літератури, що стосуються регуляції синтезу та біологічної активності вторинних метаболітів шляхом спільного вирощування бактеріальних продуцентів з мікроміцетами.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали наукові публікації зарубіжних учених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються впливу спільного культивування бактерій і мікроміцетів на утворення та біологічну активність різних антимікробних сполук.

Викладення основних результатів дослідження. *Спільне культивування продуцентів поверхнево-активних речовин з мікроміцетами.* У літературі є інформація про спільне культивування з мікроміцетами таких продуцентів ПАР, як бактерії роду *Bacillus* (Ola, Thomy, Lai, Brötz-Oesterhelt, & Proksch, 2013; DeFilippi, Groulx, Megalla, Mohamed, & Avis, 2018; Chen та ін., 2021; Pan, Liu, Xu, Chen, &

Cheng, 2021), *Acinetobacter* (Zhang та ін., 2021; Atakpa та ін., 2022), *Paraburkholderia* (Yuan та ін., 2018).

Так, DeFilippi із співавт. (DeFilippi, Groulx, Megalla, Mohamed, & Avis, 2018) досліджували вплив *Fusarium sambucinum* 2351, *Rhizopus stolonifer* 198 і *Verticillium dahliae* 175 на синтез ліпопептидів штамом *Bacillus subtilis* B9-5. Встановлено, що у разі спільного культивування продуцента ПАР з штамом *R. stolonifer* 198 концентрація фенгіцину і сурфактину була на 37 і 15,4% вищою, ніж синтезована монокультурою *B. subtilis* B9-5.

У праці (Pan, Liu, Xu, Chen, & Cheng, 2021) показано, що в разі спільного вирощування *Bacillus amyloliquefaciens* HM618 з мікроміцетами *Aspergillus oryzae* BNCC338380, *Trichoderma reesei* BNCC337997 і *Aspergillus nidulans* BNCC190203 спостерігали не тільки підвищення концентрації сурфактину у 2—30 разів, а й його антифунгальної щодо *Rhizoctonia solani* та *Botrytis cinerea* активності. Автори вважають, що одним із механізмів посилення синтезу сурфактину може бути утворення гідролітичних ферментів мікроміцетами (*A. oryzae* BNCC338380 синтезує амілазу та протеазу, а *A. nidulans* BNCC190203 — ліпазу), що гідролізують використовувані як субстрат харчові відходи до амінокислот та жирних кислот, що є попередниками ліпопептиду.

Chen та ін. (Chen та ін., 2021) встановили, що комбіноване культивування продуцента ПАР *B. amyloliquefaciens* CX-20 з мікроміцетами *A. oryzae* 92011, *Aspergillus niger* 93027 супроводжувалося зниженням синтезу ітуруну А у 1,5—5 разів. Дослідники припускають, що трансформація мікроміцетами ріпакового шроту (ростовий субстрат) супроводжується вивільненням антиоксидантних сполук, що інгібують ріст продуцента і синтез ліпопептиду.

У статті (Ola, Thomy, Lai, Brötz-Oesterhelt, & Proksch, 2013) показано, що під час спільного вирощування бактерій *B. subtilis* 168 trpC2 і грибів *Fusarium tricinctum* (номер штаму не наведено) концентрація ліпопептиду фузаристатину підвищувалася у 8 разів порівняно з показниками, встановленими для монокультури *B. subtilis* 168 trpC2. Крім того, за умов спільного культивування бактерій з мікроміцетами спостерігали збільшення синтезу антибіотиків еніатинів B1 та A1 і латеропірону.

Спільне вирощування на сирій нафті бактерій роду *Acinetobacter* з мікроміцетами *Talaromyces* sp. (Zhang та ін., 2021) або *Scedosporium* sp. ZYY (Atakpa та ін., 2022) супроводжувалося підвищенням синтезу ПАР. Так, у разі культивування *Acinetobacter baumannii* із конкурентним мікроорганізмом *Talaromyces* sp. Спостерігали підвищення деструкції нафти з 58,24% (бактеріальна монокультура) до 72,57% (змішана співкультура). Зниження поверхневого натягу супернатанту культуральної рідини після спільного вирощування бактерій з мікроміцетами до 48,28 мН/м може свідчити про підвищення синтезу ПАР співкультурою (Zhang та ін., 2021).

Аналогічні закономірності встановлені у праці (Atakpa та ін., 2022). Так, ступінь деградації нафти під час культивування бактерій *Acinetobacter* sp. Y2 з мікроміцетами *Scedosporium* sp. ZYY на цьому субстраті становив 58,61%, у той час у процесі вирощування бактеріальної монокультури не перевищував 23,3%. Зниження поверхневого натягу супернатанту культуральної рідини співкультури до 47,58 мН/м вказує на посилення синтезу ПАР таких умов культивування.

У той же час Yuan з співавт. (Yuan та ін., 2018) показали, що спільне культивування бактерій *Paraburkholderia* sp. або *Paraburkholderia tropica* з мікроміцетами *Scedosporium boydii* F-3 не супроводжувалося збільшенням синтезу ПАР, про що свідчило незначне зниження поверхневого натягу культури (з 68 мН/м для бактеріальної монокультури до 63,5 мН/м для співкультури).

Отже, більшість наявних у літературі даних щодо спільного культивування бактеріальних продуцентів поверхнево-активних речовин з мікроміцетами свідчать про те, що за таких умов спостерігається підвищення синтезу ПАР, і є лише поодинокі роботи, в яких повідомляється про посилення антимікробної активності синтезованих співкультурою метаболітів.

Культивування продуцентів антибіотиків з конкурентними мікроміцетами. Нечисленні наявні у літературі дані щодо біосинтезу антибіотиків комбінованою співкультурою стосуються спільного культивування актинобактерій роду *Streptomyces* з мікроміцетами (Boruta, & Ścigaczewska, 2021; Boruta, Ścigaczewska, & Bizukoјć, 2021; Boruta, Ścigaczewska, & Bizukoјć, 2022). У цих роботах як конкурентні мікроорганізми використовували гриби роду *Aspergillus* і *Penicillium*.

Дослідники (Boruta, & Ścigaczewska, 2021) встановили, що за спільного культивування *Streptomyces rimosus* ATCC 10970 з *Penicillium rubens* ATCC 9178 або *Aspergillus niger* ATCC 204447 спостерігали незначне підвищення концентрації окситетрацикліну: всього на 13 та 5% відповідно.

Вирощування цього ж продуцента антибіотика з іншим конкурентним мікроорганізмом (*Aspergillus terreus* ATCC 20542) так само приводило до несуттєвого збільшення кількості окситетрацикліну порівняно з монокультурою актинобактерій (18 і 13 мг/л відповідно) (Boruta, Ścigaczewska, & Bizukoјć, 2021).

Ці ж автори у наступних дослідженнях (Boruta, Ścigaczewska, & Bizukoјć, 2022) показали, що спільне культивування продуцента ністатину *Streptomyces noursei* ATCC 11455 з *A. terreus* ATCC 20542 супроводжувалося підвищенням концентрації антибіотику у 2 рази.

Ola з співавт. (Ola, Thomy, Lai, Brötz-Oesterhelt, & Proksch, 2013) показали, що у разі комбінованого вирощування *B. subtilis* 168 trpC2 з мікроміцетами *F. tricinctum* спостерігали збільшення синтезу антибіотиків порівняно з синтезованими монокультурою актинобактерій. Еніатини B1 і A1 виявляли антимікробну активність щодо *B. subtilis* 168 trpC2 (мінімальні інгібуючі концентрації 16 і 8 мкг/мл відповідно), а також щодо *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae* та *Enterococcus faecalis* (показники мінімальних інгібуючих концентрацій перебували у діапазоні 2—8 мкг/мл). Автори також встановили, що антибіотик латеропірон демонстрував високу антибактеріальну активність щодо *B. subtilis*, *S. aureus*, *S. pneumoniae* та *Enterococcus faecalis* (мінімальні інгібуючі концентрації становили 2—8 мкг/мл).

У табл. 1 наведено показники синтезу вторинних метаболітів під час вирощування бактеріальних продуцентів з конкурентними мікроміцетами. Ці дані свідчать про те, що комбіноване культивування продуцентів поверхнево-активних речовин і антибіотиків з конкурентними мікроміцетами хоч і супроводжується підвищенням синтезу цільових продуктів, проте їх концентрація залишається невисокою. Очевидно, наступні дослідження авторів будуть присвячені оптимізації умов спільного культивування мікроорганізмів для забезпечення максимального синтезу вторинних метаболітів. На нашу думку, одним з факторів такої оптимізації може бути спосіб підготовки інокуляту, зокрема, використання для його вирощування рідких мінеральних поживних середовищ.

Утворення нових біологічно активних метаболітів під час спільного культивування бактерій з мікроміцетами. У процесі вирощування бактерій з еукаріотами часто спостерігається синтез нових антимікробних метаболітів, нехарактерних для бактеріальних монокультур. Зокрема, у літературі є відомості про утворення таких нових сполук представниками роду *Bacillus* (Ola, Thomy, Lai, Brötz-Oesterheld, & Proksch, 2013; Wu та ін., 2018; Li та ін., 2020), *Streptomyces* (Wang та ін., 2014; Wakefield, Hassan, Jaspars, Ebel, & Rateb, 2017; Khalil, Cruz-Morales, Licona-Cassani, Marcellin, & Capon, 2019; Yu та ін., 2019), *Pseudomonas* (Moussa, Ebrahim, Kalscheuer, Liu, & Proksch, 2020) та *Acinetobacter* (Zhang та ін., 2017; Zhang та ін., 2018).

Таблиця 1. Утворення поверхнево-активних речовин і антибіотиків у процесі спільного культивування бактерій-продуцентів з мікроміцетами

Продуцент	Конкурентний мікроорганізм	Середовище для вирощування інокуляту продуцента/ конкурентного мікроорганізму	Субстрат	Концентрація вторинних метаболітів монокультура/ співкультура	Література
<i>Bacillus subtilis</i> B9–5	<i>Rhizopus stolonifer</i> 198	Триптон-соєвий агар/картопляно-декстрозний агар	Сахароза	Фенгіцин: 27/37 мкг/мл; Сурфактин: 3,25/3,75 мкг/мл	DeFilippi, Groulx, Megalla, Mohamed, & Avis, 2018
<i>Bacillus subtilis</i> 168 trpC2	<i>Fusarium tricinctum</i>	LB середовище/солодовий агар	Глюкоза	Фузаристатин А: 10,05/79,40 мг/л Еніатин В1: 2,44/88,54 мг/л; Еніатин А1: 0,28/21,85 мг/л; Еніатин В: 3,4/4,85 мг/л; Латеропірон: 8,78/79,58 мг/л	Ola, Thomy, Lai, Brötz-Oesterheld, & Proksch, 2013
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>Fusarium tricinctum</i>	Середовище Мюллера-Хінтона	Молочний рис	Феназин-1-карбонова кислота: –*/85,1 мг/л Феназин-1-карбоксамід: –*/7,5 мг/л 2-гептил-4-гідроксихінолон: –*/26,1 мг/л	Moussa, Ebrahim, Kalscheuer, Liu, & Proksch, 2020
<i>Streptomyces rimosus</i> ATCC 10970	<i>Penicillium rubens</i> ATCC 9178	Солодово-дріжджово-декстрозний агар / картопляно-декстрозний агар	Глюкоза	Окситетрациклін: 3,5/3,95 мг/л	Boruta, & Ścigaczewska, 2021
	<i>Aspergillus niger</i> ATCC 204447	Солодово-дріжджово-декстрозний агар / солодово-казеїно-пептонний агар	Глюкоза	Окситетрациклін: 3,5/3,65 мг/л	Boruta, & Ścigaczewska, 2021

<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> CX-20	<i>Aspergillus oryzae</i> 92011	LB середовище/ріпаковий шрот, пшеничні висівки	Глюкоза, ріпаковий шрот	Ігурин А: 1,25/0,93 г/л	Chen та ін., 2021
	<i>Aspergillus niger</i> 93027	LB середовище/ріпаковий шрот, пшеничні висівки	Глюкоза, ріпаковий шрот	Ігурин А: 1,25/0,6 г/л	Chen та ін., 2021
	<i>Trametes</i> sp. 48424	LB середовище/ріпаковий шрот, пшеничні висівки	Глюкоза, ріпаковий шрот	Ігурин А: 1,25/0,27 г/л	Chen та ін., 2021
<i>Streptomyces noursei</i> ATCC 11455	<i>Aspergillus terreus</i> ATCC 20542	Дріжджовий екстракт, солодовий екстракт, декстроза, агар/солодовий екстракт, казеїновий пептон, агар	Лактоза, глюкоза	Ністатин А1: 15,6/32,5 мг/л	Boruta, Ścigaczewska, & Bizukojć, 2022
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> HM618	<i>Aspergillus oryzae</i> BNCC 338380	Пептон, яловичий екстракт, дріжджовий екстракт, глюкоза, натрію хлорид/картопля, глюкоза, тіамін, неорганічні солі	Харчові відходи	Сурфактин: 203,67/5878,5 мг/л	Pan, Liu, Xu, Chen, & Cheng, 2021
	<i>Trichoderma reesei</i> BNCC 337997	Пептон, яловичий екстракт, дріжджовий екстракт, глюкоза, натрію хлорид/картопля, глюкоза, тіамін, неорганічні солі	Харчові відходи	Сурфактин: 203,67/425,98 мг/л	Pan, Liu, Xu, Chen, & Cheng, 2021
	<i>Aspergillus nidulans</i> BNCC 190203	Пептон, яловичий екстракт, дріжджовий екстракт, глюкоза, натрію хлорид/картопля, глюкоза, тіамін, неорганічні солі	Харчові відходи	Сурфактин: 203,67/654,04 мг/л	Pan, Liu, Xu, Chen, & Cheng, 2021

Примітка: * — не виявлено у монокультури.

Так, Wu зі співавт. (Wu та ін., 2018) встановили, що результатом спільного вирощування *B. amyloliquefaciens* ACCC11060 з *Trichoderma asperellum* GDFS1009 (співвідношення 1,9:1 відповідно) було утворення комплексу сполук (4-гідроксибензойна кислота, апігенін, гліцин бетаїн, ніотинова кислота), який характеризувався високою антифунгальною активністю щодо *Botrytis cinerea*.

У роботі (Li та ін., 2020) показано, що під час культивування *B. subtilis* 22 з *Trichoderma atroviride* SG3403 синтезувалися такі антимікробні сполуки, як конінгінін А, мевастатин, 11-дезацетоксивортманін, спіролактони. Встановлено, що одержані за таких умов вторинні метаболіти спричиняли антифунгальну дію на

Fusarium graminearum.

При спільному культивуванні *B. subtilis* CGMCC 13141 з грибами *Aspergillus sydowii* 401353 спостерігали утворення нових антимікробних сполук: (7S)-10-гідроксидеканової кислоти, сидонату серину, макролактину U' (Sun та ін., 2021; Sun та ін., 2022).

У працях (Wakefield, Hassan, Jaspars, Ebel, & Rateb, 2017; Boruta, & Ścigaczewska, 2021) встановлено, що комбіноване культивування *Streptomyces leeuwenhoekii* C58 і *Aspergillus fumigatus* MR2012 у середовищі з глюкозою супроводжувалося синтезом таких антимікробних метаболітів як чаксапептин, сесквітерпенова пенталенова кислота, нокардамін, нехарактерних для монокультури актинобактерій.

Yu із співавт. (Yu та ін., 2019) показали, що в результаті спільного вирощування *Streptomyces rochei* MB037 з грибами *Rhinochadiella similis* 35 синтезуються не характерні для монокультур борелідини J і K, а також нова сполука 7-метокси-2,3-диметилхромон-4-он. Дослідники встановили, що утворення нових метаболітів зумовлене активацією «мовчазних» генів вторинного метаболізму грибів в умовах комбінованого культивування. Подальші дослідження показали, що борелідин J виявляв високу антибактеріальну активність щодо метицилін-резистентного штамів *S. aureus*: мінімальні інгібуючі концентрації становили всього 0,195 мкг/мл, у той час як ці показники для антибіотика ципрофлоксацину були вищими (0,313 мкг/мл).

У праці (Wang та ін., 2014) було виявлено, що комбіноване культивування *Streptomyces fradiae* 007 з *Penicillium* sp. WC-29-5 супроводжувалося синтезом чотирьох нових полікетидів, ідентифікованих як дезоксифунікон, альтернаріол, вермістатин, (9R,14S)-епокси-11-дезоксифунікон, (9S,14R)-епокси-11-дезоксифунікон.

Результатом спільного вирощування *Streptomyces* sp. SUK10 з *Fusarium* sp. F7S15 (Zawawi та ін., 2022) стало утворення нових сполук (наразин D, семіноліпід, олігоміцин A, ікозалід A1, ікозалід A3). Антибактеріальну активність одержаних метаболітів визначали методом дифузії в агар, як описано у статті (Assaw та ін., 2020). Результати показали, що екстракт метаболітів з культуральної рідини після спільного вирощування бактерій і грибів проявляв незначну антибактеріальну активність щодо *Micrococcus* sp. і *S. aureus* зі значеннями мінімальних інгібуючих концентрацій 5 і 10 мг/мл відповідно.

За спільного культивування *Streptomyces* sp. CMB-StM0423 з *Aspergillus* sp. CMB-AsM0423 спостерігали утворення геронапіролу B — метаболіту, не характерного для бактерії-продуцента (Khalil, Cruz-Morales, Licon-Cassani, Marcellin, & Caron, 2019). Вирощування даних мікроорганізмів проводили у 24-лунковій мікробіореакторній системі (Khalil, Kalansuriya, & Caron, 2014). Синтез нової антимікробної сполуки пояснюється тим, що бактеріостатичний метаболіт грибів цикло-(L-феніл-транс-4-гідрокси-L-пролін) стимулював синтез актинобактерією оксиду азоту (NO), який, у свою чергу, спричиняв транскрипційну активацію мовчазного кластера біосинтетичних генів біосинтезу геронапіролу B.

Meschke із співавт. (Meschke, Walter, & Schrempf, 2012) встановили, що вирощування співкультури *Streptomyces lividans* 66 і патогенних грибів *Verticillium dahlia* супроводжувалося утворенням ундецилпродигіозину, який не синтезувався

монокультурою бактерій. Одержаний метаболіт виявляв сильну антифунгальну дію на гіфи та мікросклеротії *V. dahliae*, тим самим порушуючи специфічні шляхи передачі сигналу та апоптоз цього збудника захворювань рослин.

Утворення нових антимікробних феноантинів спостерігали також під час спільного культивування *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853 з *Fusarium tricinctum* (Moussa, Ebrahim, Kalscheuer, Liu, & Proksch, 2020). Утворення цих сполук, нехарактерних для бактерії-продуцента, зумовлене впливом метаболітів гриба на «мовчазний» кластер біосинтетичних генів *P. aeruginosa* ATCC27853, що призводить до активації синтезу феназин-1-карбонової кислоти, феназин-1-карбоксаміду та 2-гептил-4-гідроксихінолону.

Zhang та співавт. (Zhang та ін., 2017; Zhang та ін., 2018) встановили, що у процесі спільного вирощування *Acinetobacter johnsonii* B2 і *Trichoderma* sp. 307 синтезувалися біологічно активні сполуки мікросферопсисини В, С-(3R, 7R)-7-гідрокси-де-О-метиллазіодиплодин, (3R)-5-оксо-де-О-метиллазіодиплодин, (3R)-7-оксо-де-О-метиллазіодиплодин (Zhang та ін., 2017) та ботріородін Н (Zhang та ін., 2018). Утворений ботріородін Н інгібував активність α -глюкозидази з IC_{50} в діапазоні від 8,1 до 54,1 мкМ, а також виявляв високу цитотоксичність щодо клітинних ліній MMQ і GH3 зі значеннями IC_{50} 3,09 і 3,64 мкМ відповідно.

Узагальнені дані щодо утворення нових метаболітів з різною біологічною активністю у процесі комбінованого культивування бактерій мікроміцетами наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Синтез нових біологічно активних сполук як результат спільного культивування бактерій з мікроміцетами

Продуцент	Конкурентний мікроорганізм	Субстрат	Метаболіти, не характерні для монокультури	Література
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> ACCC11060	<i>Trichoderma asperellum</i> GDFS1009	Яловичий екстракт	4-гідроксибензойна кислота Апігенін Гліцин бетаїн Нікотинова кислота	Wu та ін., 2018
<i>Bacillus subtilis</i> 22	<i>Trichoderma atroviride</i> SG3403	Меляса	Конінгінін А Мевастатин 11-Дезацетоксивортманін Спіролактони	Li та ін., 2019
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27853	<i>Fusarium tricinctum</i>	Молочний рис	Феназин-1-карбонова кислота Феназин-1-карбоксамід 2-Гептил-4-гідроксихінолон	Moussa, Ebrahim, Kalscheuer, Liu, & Proksch, 2020
<i>Streptomyces rochei</i> MB037	<i>Rhinochadiella similis</i> 35	Солодовий екстракт, декстроза	Борелідин J Борелідин K 7-Метокси-2,3-диметилхромон-4-он	Yu та ін., 2019

<i>Streptomyces leeuwenhoekii</i> C34	<i>Aspergillus fumigatus</i> MR2012	Глюкоза	Бревіанамід Х Лютеорид D Псевротін G	Wakefield, Hassan, Jaspars, Ebel, & Rateb, 2017
<i>Bacillus subtilis</i> CGMCC 13141	<i>Aspergillus sydowii</i> 401353	Декстроза	(7S)-10-Гідроксидеканова кислота Серин сидонат Макролактин U'	Sun та ін., 2021; Sun та ін., 2022
<i>Streptomyces fradiae</i> 007	<i>Penicillium</i> sp. WC-29-5	Глюкоза, мальтоза, маніт	Дезоксифунікон Альтернاریол Вермістатин (9R,14S)-Епокси-11-дезоксифунікон (9S,14R)-Епокси-11-дезоксифунікон	Wang та ін., 2014
<i>Streptomyces</i> sp. CMB-StM0423	<i>Aspergillus</i> sp. CMB-AsM0423	Крохмаль	Геронапірол В	Khalil, Cruz-Morales, Licona-Cassani, Marcellin, & Capon, 2019
<i>Streptomyces lividans</i> 66	<i>Verticillium dahliae</i>	Глюкоза	Ундецилпродигіозин	Meschke, Walter, & Schrempf, 2012
<i>Streptomyces</i> sp. SUK10	<i>Fusarium</i> sp. F7S15	Солодовий екстракт, моногідрат глюкози	Наразин D Семіноліпід Олігоміцин А Ікозалід А1 Ікозалід А3	Zawawi та ін., 2022
<i>Acinetobacter johnsonii</i> B2	<i>Trichoderma</i> sp. 307	Рис	Мікросферопсисини В, С (3R, 7R)-7-Гідрокси-де-О-метиллазіодиплодин (3R)-5-Оксо-де-О-метиллазіодиплодин (3R)-7-Оксо-де-О-метиллазіодиплодин	Zhang та ін., 2017
<i>Acinetobacter johnsonii</i> B2	<i>Trichoderma</i> sp. 307	Рис	Ботріородін Н	Zhang та ін., 2018

Синтез поверхнево-активних речовин і антибіотиків за наявності мікроміцетних індукторів. У наших попередніх дослідженнях (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021) ми акцентували увагу на відмінності понять «спільне культивування мікроорганізмів» і «біологічний індуктор». У першому випадку інокулят обох штамів (і продуцента, і конкурентного мікроорганізму) вносять у середовище культивування у практично однаковій концентрації. У другому випадку живі або інактивовані клітини індуктора, або супернатант (фільтрат) після вирощування конкурентного мікроорганізму вносять у середовище у значно нижчій концентрації порівняно з

клітинами продуцента цільових метаболітів.

Упродовж останніх років у літературі з'явилася інформація про підвищення синтезу поверхнево-активних речовин і антибіотиків за наявності у середовищі культивування продуцента мікроміцетних індукторів. Переважна більшість таких досліджень стосуються впливу індукторів на синтез вторинних метаболітів бактеріями роду *Bacillus* (Chen та ін., 2021; Wang та ін., 2021; Fifani та ін., 2022) і *Streptomyces* (Wang, Yuan, Gu, & Shi, 2013; Sharma та ін., 2017; Wang, Wei, Zhang, Zhang, & Gu, 2017; Shi, Tao, & Liu, 2018; Song, Ma, Bechthold, & Yu, 2020; Liu, Wang, Li, Zhang, & Meng, 2022; Liu, Wang, Zhang, & Qi, 2022).

Поверхнево-активні речовини. У більшості досліджень як індуктори використовують живі клітини мікроміцетів (Chen та ін., 2021; Wang та ін., 2021; Liu, Wang, Li, Zhang, & Meng, 2022; Liu, Wang, Zhang, & Qi, 2022), а супернатант (Fifani та ін., 2022; Liu, Wang, Li, Zhang, & Meng, 2022; Liu, Wang, Zhang, & Qi, 2022) та інактивовані клітини (Fifani та ін., 2022) — значно рідше.

Fifani з співавт. (Fifani та ін., 2022) досліджували синтез ліпопептидів *Bacillus velezensis* GA1 за наявності у середовищі культивування інактивованих автоклавуванням клітин *Trichoderma harzianum* IHEM5437 або супернатанту після вирощування штаму IHEM5437. Незначне підвищення концентрації ігурину, фенгіцину та сурфактину за таких умов культивування порівняно з показниками синтезу без індуктора автори пояснюють здатністю штаму *T. harzianum* IHEM5437 до продукції амінокислот (Callow, Ray, Kelbly, & Ju, 2016), які продуцент ПАР може використовувати як джерело азоту і попередник синтезу ліпопептидів.

У роботах (Liu, Wang, Li, Zhang, & Meng, 2022; Liu, Wang, Zhang, & Qi, 2022) встановлено, що внесення у середовище культивування *Streptomyces bikiniensis* HD-087 живих клітин *Magnaporthe oryzae* Guy11 або відповідного супернатанту супроводжувалося підвищенням концентрації ліпопептидів на 107,4% порівняно з показниками синтезу у середовищі без індукторів. Автори показали, що за наявності індукторів в клітинах *S. bikiniensis* HD-087 спостерігається підвищення активності ферментів циклу трикарбонових кислот, в результаті чого утворюється більша кількість відновлювальних еквівалентів (НАДН і ФАДН) і АТФ, використовуваних у синтезі жирних кислот, необхідних для утворення ліпопептидів.

Підвищення синтезу ігурину А на 33% спостерігали за наявності у середовищі культивування *B. amyloliquefaciens* CX-20 живих клітин *A. oryzae* 92011 або *Trametes* sp. 48424 (Wang et al, 2021).

Антибіотики. У доступній літературі є лише поодинокі відомості про вплив інактивованих клітин мікроміцетів на синтез антибіотиків, і значно більше інформації про утворення цих продуктів мікробного синтезу за наявності живих клітин або супернатанту (Wang, Yuan, Gu, & Shi, 2013; Wang, Wei, Zhang, Zhang, & Gu, 2017; Sharma та ін., 2017; Shi, Tao, & Liu, 2018; Song, Ma, Bechthold, & Yu, 2020)

У праці (Song, Ma, Bechthold, & Yu, 2020) встановлено, що в разі додавання живих клітин *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* або супернатанту після вирощування цього штаму у середовище культивування *Streptomyces rimosus* M527 концентрація антибіотику римоцидину підвищувалася в 1,8 та 1,5 рази відповідно

порівняно з показниками синтезу у середовищі без індукторів. Оскільки римоцидин характеризується антифунгальною активністю щодо *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* (Lu та ін., 2016), посилена продукція цього антибіотика може бути зумовлена захисною реакцією *S. rimosus* M527.

У працях (Wang, Yuan, Gu, & Shi, 2013; Wang, Wei, Zhang, Zhang, & Gu, 2017; Shi, Tao, Liu, 2018) досліджували вплив живих клітин мікроміцетів роду *Aspergillus* і *Penicillium*, або відповідних супернатантів у середовищі культивування продуцентів натаміцину на синтез цього антибіотика. У більшості досліджень за наявності індукторів спостерігали підвищення концентрації натаміцину в 1,3—3 рази, проте у деяких випадках внесення супернатанту після вирощування мікроміцетів супроводжувалося зниження синтезу антибіотика порівняно з показниками у середовищі без індуктора.

Sharma зі співавт. (Sharma та ін., 2017) встановили, що при внесенні у середовище культивування *Streptomyces lavendulae* ACR-DA1 живих клітин *Trichoderma velutinum* концентрація валіноміцину знижувалася у два рази порівняно з синтезом без індуктора.

У табл. 3 наведено узагальнену інформацію про синтез вторинних метаболітів за наявності у середовищі бактеріальних продуцентів мікроміцетних індукторів. Ці дані свідчать про те, що внесення живих клітин або супернатанту після вирощування мікроміцетів є простим, але достатньо ефективним прийомом для підвищення синтезу поверхнево-активних речовин і антибіотиків. Разом з тим у даних роботах автори не досліджували біологічну активність синтезованих цільових продуктів. Оскільки залежно від умов культивування біологічна активність вторинних метаболітів може змінюватися, немає гарантій того, що за наявності еукаріотичних індукторів будуть синтезуватися продукти з необхідними для практичного використання властивостями.

Таблиця 3. Вплив еукаріотичних індукторів на синтез поверхнево-активних речовин і антибіотиків

Продуцент	Індуктор	Фізіологічний стан індуктора	Цільовий продукт	Концентрація цільового продукту, синтезованого		Література
				без індуктора	за наявності індуктора	
<i>Streptomyces bikiniensis</i> HD-087	<i>Magnaporthe oryzae</i> Guy11	Супернатант	Ліпопептиди	285,6 ± 9,3 мг/л	531,3 ± 9,3 мг/мл	Liu, Wang, Li, Zhang, & Meng, 2022
<i>Streptomyces natalensis</i> HW-2	<i>Penicillium chrysogenum</i> AS 3.5163	Супернатант	Натаміцин	1,2 г/л	2,49 г/л	Wang, Wei, Zhang, Zhang, & Gu, 2017
<i>Streptomyces natalensis</i> HW-2	<i>Aspergillus oryzae</i> AS 3.2068	Живі клітини, супернатант	Натаміцин	0,639 г/л	0,639 г/л (живі клітини); 0,35 г/л (супернатант)	Wang, Yuan, Gu, & Shi, 2013

	<i>Aspergillus niger</i> AS 3.6472	Живі клітини, супернатант	Натаміцин	0,639 г/л	0,799 г/л (живі клітини); 1,62 г/л (супернатант)	
	<i>Penicillium chrysogenum</i> AS 3.5163	Живі клітини, супернатант	Натаміцин	0,639 г/л	0,875 г/л (живі клітини); 1,84 г/л (супернатант)	
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> CX-20	<i>Aspergillus oryzae</i> 92011	Живі клітини	Ігурин А	1,74 г/л	1,88 г/л	Wang та ін., 2021
	<i>Trametes</i> sp. 48424	Живі клітини	Ігурин А	1,74 г/л	1,95 г/л	
<i>Streptomyces natalus</i> N5	<i>Aspergillus niger</i>	Супернатант	Натаміцин	0,85 г/л	1,44 г/л	Shi, Tao, & Liu, 2018
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	Супернатант	Натаміцин	0,85 г/л	1,69 г/л	
<i>Streptomyces lavendulae</i> ACR-DA1	<i>Trichoderma velutinum</i>	Живі клітини	Валіномицин	50 мг/л	26,3 мг/л	Sharma та ін., 2017
<i>Streptomyces rimosus</i> M527	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	Супернатант, живі клітини, інактивовані клітини	Римоцидин	0,21—0,22 г/л	0,3 г/л (супернатант); 0,385 г/л (живі клітини); 0,22 г/л (інактивовані клітини)	Song, Ma, Bechthold & Yu, 2020

Висновки

У цьому огляді ми підсумували репрезентативні дослідження індукції синтезу мікробних вторинних метаболітів за допомогою стратегій спільного культивування бактеріальних штабів з мікроміцетами. Ці дані свідчать про те, що комбіноване культивування мікроорганізмів, а також внесення у середовище вирощування продуцента біологічних індукторів є простим, дешевим і достатньо ефективним способом підвищення синтезу практично важливих мікробних метаболітів, або навіть отримання нових сполук, нехарактерних для монокультури-продуцента. Разом з тим зазначимо, що, незважаючи на велику кількість досліджень цієї проблеми, багато питань натепер залишаються без відповіді. Так, потребує додаткового вивчення і пояснення як вибір конкурентного мікроорганізму, так і спосіб підготовки його інокуляту, а також фізіологічний стан індуктора, його концентрація і момент внесення у середовище культивування продуцента. У більшості проаналізованих праць залишається практично недослідженою біологічна активність синтезованих за наявності конкурентних мікроміцетів вторинних метаболітів. З потенційно можливих механізмів індукції синтезу цільових продуктів

переважно розглядається активація «мовчазних» біосинтетичних генів штаму-продуцента. Проблемним місцем багатьох досліджень є недостатньо висока концентрація вторинних метаболітів, що суттєво обмежує можливість їх практичного застосування.

Література

- Пирог, Т. П., Иванов, М. С., Ярова, Г. А. (2021). Антимікробна активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, синтезованих за наявності біологічних індукторів. *Наукові праці НУХТ*, 27(4), 43—52. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/36596>.
- Abdelmohsen, U. R., Grkovic, T., Balasubramanian, S., Kamel, M. S., Quinn, R. J., & Hentschel, U. (2015). Elicitation of secondary metabolism in actinomycetes. *Biotechnology advances*, 33(6), 798—811. doi: 10.1016/j.biotechadv.2015.06.003.
- Aparicio, J. F., Bareales, E. G., Payero, T. D., Vicente, C. M., de Pedro, A., & Santos-Aberturas, J. (2016). Biotechnological production and application of the antibiotic pimarin: biosynthesis and its regulation. *Applied microbiology and biotechnology*, 100(1), 61—78. doi: 10.1007/s00253-015-7077-0.
- Assaw, S., Mohd Amir, M. I. H., Khaw, T. T., Bakar, K., Mohd Radzi, S. A., & Mazlan, N. W. (2020). Antibacterial and antioxidant activity of naphthofuranquinones from the twigs of tropical mangrove *Avicennia officinalis*. *Natural product research*, 34(16), 2403-2406. doi: 10.1080/14786419.2018.1538220.
- Atakpa, E. O., Zhou, H., Jiang, L., Ma, Y., Liang, Y., Li, Y., ..., & Zhang, C. (2022). Improved degradation of petroleum hydrocarbons by co-culture of fungi and biosurfactant-producing bacteria. *Chemosphere*, 290, 133337. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.133337.
- Banat, I. M., De Rienzo, M. A. D., & Quinn, G. A. (2014). Microbial biofilms: biosurfactants as antibiofilm agents. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(24), 9915—9929. doi: 10.1007/s00253-014-6169-6.
- Boruta, T. (2021). A bioprocess perspective on the production of secondary metabolites by *Streptomyces* in submerged co-cultures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(10), 171. doi: 10.1007/s11274-021-03141-z.
- Boruta, T., & Ścigaczewska, A. (2021). Enhanced oxytetracycline production by *Streptomyces rimosus* in submerged co-cultures with *Streptomyces noursei*. *Molecules*, 26(19), 6036. doi: 10.3390/molecules26196036.
- Boruta, T., Ścigaczewska, A., & Bizukojć, M. (2021). “Microbial wars” in a stirred tank bioreactor: Investigating the co-cultures of *Streptomyces rimosus* and *Aspergillus terreus*, filamentous microorganisms equipped with a rich arsenal of secondary metabolites. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 713639. doi: 10.3389/fbioe.2021.713639.
- Boruta, T., Ścigaczewska, A., & Bizukojć, M. (2022). Production of secondary metabolites in stirred tank bioreactor co-cultures of *Streptomyces noursei* and *Aspergillus terreus*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. doi: 10.3389/fbioe.2022.1011220.
- Callow, N. V., Ray, C. S., Kelbly, M. A., & Ju, L. K. (2016). Nutrient control for stationary phase cellulase production in *Trichoderma reesei* Rut C-30. *Enzyme and microbial technology*, 82, 8—14. doi: 10.1016/j.enzmictec.2015.08.012.
- Challinor, V. L., & Bode, H. B. (2015). Bioactive natural products from novel microbial sources. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1354(1), 82—97. doi: 10.1111/nyas.12954.
- Chen, W., Wang, M., Gong, Y., Deng, Q., Zheng, M., Chen, S., ..., & Huang, F. (2021). The unconventional adverse effects of fungal pretreatment on iturin A fermentation by *Bacillus amylo-liquefaciens* CX-20. *Microbial Biotechnology*, 14(2), 587—599. doi: 10.1111/1751-7915.13658.
- Dashti, Y., Grkovic, T., Abdelmohsen, U. R., Hentschel, U., & Quinn, R. J. (2014). Production of induced secondary metabolites by a co-culture of sponge-associated *Actinomycetes*, *Actinokineospora* sp. EG49 and *Nocardiopsis* sp. RV163. *Marine drugs*, 12(5), 3046—3059. doi: 10.3390/md12053046.
- DeFilippi, S., Groulx, E., Megalla, M., Mohamed, R., & Avis, T. J. (2018). Fungal competitors affect production of antimicrobial lipopeptides in *Bacillus subtilis* strain B9-5. *Journal of chemical*

ecology, 44, 374—383. doi: 10.1007/s10886-018-0938-0.

Díaz De Rienzo, M. A., Banat, I. M., Dolman, B., Winterburn, J., & Martin, P. J. (2015). Sophorolipid biosurfactants: Possible uses as antibacterial and antibiofilm agent. *New Biotechnology*, 32(6), 720—726. doi: 10.1016/j.nbt.2015.02.009.

Ebrahim, W., El-Neketi, M., Lewald, L. I., Orfali, R. S., Lin, W., Rehberg, N., ... & Proksch, P. (2016). Metabolites from the fungal endophyte *Aspergillus austroafricanus* in axenic culture and in fungal–bacterial mixed cultures. *Journal of Natural Products*, 79(4), 914—922. doi: 10.1021/acs.jnatprod.5b00975.

Fifani, B., Steels, S., Helmus, C., Delacuvellerie, A., Deracinois, B., Phalip, V., ..., & Jacques, P. (2022). Coculture of *Trichoderma harzianum* and *Bacillus velezensis* based on metabolic cross-feeding modulates lipopeptide production. *Microorganisms*, 10(5), 1059. doi: 10.3390/microorganisms10051059.

Khalil, Z. G., Cruz-Morales, P., Licona-Cassani, C., Marcellin, E., & Capon, R. J. (2019). Inter-Kingdom beach warfare: Microbial chemical communication activates natural chemical defences. *The ISME journal*, 13(1), 147—158. doi: 10.1038/s41396-018-0265-z.

Li, T., Tang, J., Karuppiah, V., Li, Y., Xu, N., & Chen, J. (2020). Co-culture of *Trichoderma atroviride* SG3403 and *Bacillus subtilis* 22 improves the production of antifungal secondary metabolites. *Biological Control*, 140, 104122. doi: 10.1016/j.biocontrol.2019.104122.

Liu, W., Wang, J., Li, S., Zhang, H., Meng, L., Liu, L., ..., & Ping, W. (2022). Genomic and biocontrol potential of the crude lipopeptide by *Streptomyces bikiniensis* HD-087 against *Magnaporthe oryzae*. *Frontiers in Microbiology*, 1946. doi: 10.3389/fmicb.2022.888645.

Liu, W., Wang, J., Zhang, H., Qi, X., & Du, C. (2022). Transcriptome analysis of the production enhancement mechanism of antimicrobial lipopeptides of *Streptomyces bikiniensis* HD-087 by co-culture with *Magnaporthe oryzae* Guy11. *Microbial Cell Factories*, 21(1), 1—11. doi: 10.1186/s12934-022-01913-2.

Lu, D., Ma, Z., Xu, X., & Yu, X. (2016). Isolation and identification of biocontrol agent *Streptomyces rimosus* M527 against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *Journal of basic microbiology*, 56(8), 929—933. doi: 10.1002/jobm.201500666.

Marmann, A., Aly, A., Lin, W., Wang, B., & Proksch, P. (2014). Co-Cultivation—A Powerful Emerging Tool for Enhancing the Chemical Diversity of Microorganisms. *Marine Drugs*, 12(2), 1043—1065. doi:10.3390/md12021043.

Meschke, H., Walter, S., & Schrenpf, H. (2012). Characterization and localization of prodiginines from *Streptomyces lividans* suppressing *Verticillium dahliae* in the absence or presence of *Arabidopsis thaliana*. *Environmental microbiology*, 14(4), 940—952. doi: 10.1111/j.1462-2920. 2011. 02665.x.

Moussa, M., Ebrahim, W., Kalscheuer, R., Liu, Z., & Proksch, P. (2020). Co-culture of the bacterium *Pseudomonas aeruginosa* with the fungus *Fusarium tricinctum* induces bacterial antifungal and quorum sensing signaling molecules. *Phytochemistry Letters*, 36, 37—41. doi: 10.1016/j.phytol.2020.01.013.

Ola, A. R., Thomy, D., Lai, D., Brötz-Oesterhelt, H., & Proksch, P. (2013). Inducing secondary metabolite production by the endophytic fungus *Fusarium tricinctum* through coculture with *Bacillus subtilis*. *Journal of natural products*, 76(11), 2094—2099. doi:10.1021/np400589h.

Pan, F. D., Liu, S., Xu, Q. M., Chen, X. Y., & Cheng, J. S. (2021). Bioconversion of kitchen waste to surfactin via simultaneous enzymolysis and fermentation using mixed-culture of enzyme-producing fungi and *Bacillus amyloliquefaciens* HM618. *Biochemical Engineering Journal*, 172, 108036. doi: 10.1016/j.bej.2021.108036.

Peng, X. Y., Wu, J. T., & Shao, C. L. (2021). Co-culture: stimulate the metabolic potential and explore the molecular diversity of natural products from microorganisms. *Mar. Life Sci. Technol.* 3, 363—374. doi: 10.1007/s42995-020-00077-5.

Sharma, R., Jamwal, V., Singh, V. P., Wazir, P., Awasthi, P., Singh, D., ..., & Chaubey, A. (2017). Revelation and cloning of valinomycin synthetase genes in *Streptomyces lavendulae* ACR-DA1 and their expression analysis under different fermentation and elicitation conditions. *Journal of biotechnology*, 253, 40—47. doi: 10.1016/j.jbiotec.2017.05.008.

- Shi, S., Tao, Y., & Liu, W. (2018). Effects of Fungi Fermentation Broth on Natamycin Production of *Streptomyces*. *Progress in Applied Microbiology*, 1(1).
- Song, Z., Ma, Z., Bechthold, A., & Yu, X. (2020). Effects of addition of elicitors on rimocidin biosynthesis in *Streptomyces rimosus* M527. *Applied microbiology and biotechnology*, 104, 4445—4455. doi:10.1007/s00253-020-10565-4.
- Sun, Y., Liu, W. C., Shi, X., Zheng, H. Z., Zheng, Z. H., Lu, X. H., ..., & Dong, Y. S. (2021). Inducing secondary metabolite production of *Aspergillus sydowii* through microbial co-culture with *Bacillus subtilis*. *Microbial Cell Factories*, 20(1), 1—16. doi: 10.1186/s12934-021-01527-0.
- Sun, Y., Shi, X., Xing, Y., Ren, X. X., Zhang, D. Y., Li, X., ..., & Dong, Y. S. (2022). Co-culture of *Aspergillus sydowii* and *Bacillus subtilis* induces the production of antibacterial metabolites. *Fungal Biology*, 126(4), 320-332. doi: 10.1016/j.funbio.2022.01.002.
- Wakefield, J., Hassan, H. M., Jaspars, M., Ebel, R., & Rateb, M. E. (2017). Dual induction of new microbial secondary metabolites by fungal bacterial co-cultivation. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1284. doi: 10.3389/fmicb.2017.01284.
- Wang, D., Wei, L., Zhang, Y., Zhang, M., & Gu, S. (2017). Physicochemical and microbial responses of *Streptomyces natalensis* HW-2 to fungal elicitor. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101, 6705—6712. doi: 10.1007/s00253-017-8440-0.
- Wang, D., Yuan, J., Gu, S., & Shi, Q. (2013). Influence of fungal elicitors on biosynthesis of natamycin by *Streptomyces natalensis* HW-2. *Applied microbiology and biotechnology*, 97, 5527—5534. doi: 10.1007/s00253-013-4786-0.
- Wang, M., Yang, C., François, J. M., Wan, X., Deng, Q., Feng, D., ..., & Gong, Y. (2021). A two-step strategy for high-value-added utilization of rapeseed meal by concurrent improvement of phenolic extraction and protein conversion for microbial Iturin A production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 975. doi: 10.3389/fbioe.2021.735714.
- Wang, Y., Wang, L., Zhuang, Y., Kong, F., Zhang, C., & Zhu, W. (2014). Phenolic polyketides from the co-cultivation of marine-derived *Penicillium* sp. WC-29-5 and *Streptomyces fradiae* 007. *Marine Drugs*, 12(4), 2079—2088. doi: 10.3390/md12042079.
- Wenciewicz, T. A. (2019). Crossroads of Antibiotic Resistance and Biosynthesis. *Journal of Molecular Biology*. doi: 10.1016/j.jmb.2019.06.033.
- Wu, Q., Ni, M., Dou, K., Tang, J., Ren, J., Yu, C., & Chen, J. (2018). Co-culture of *Bacillus amyloqueluifaciens* ACCC11060 and *Trichoderma asperellum* GDFS1009 enhanced pathogen-inhibition and amino acid yield. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 1—12. doi: 10.1186/s12934-018-1004-x.
- Xu, S., Li, M., Hu, Z., Shao, Y., Ying, J., & Zhang, H. (2023). The Potential Use of Fungal Co-Culture Strategy for Discovery of New Secondary Metabolites. *Microorganisms*, 11(2), 464. doi: 10.3390/microorganisms11020464.
- Xu, Y., Jing, Y., Zhang, Y., Liu, Q., Xiu, J., Zhang, K., ... & Wu, X. L. (2022). Single-Cell-Based High-Throughput Cultivation and Functional Characterization of Biosurfactant-Producing Bacteria from Soil and Oilfield-Produced Water. *Microorganisms*, 10(11), 2216. doi: 10.3390/microorganisms10112216.
- Yu, M., Li, Y., Banakar, S. P., Liu, L., Shao, C., Li, Z., & Wang, C. (2019). New metabolites from the co-culture of marine-derived actinomycete *Streptomyces rochei* MB037 and fungus *Rhinochadiella similis* 35. *Frontiers in Microbiology*, 10, 915. doi: 10.3389/fmicb.2019.00915.
- Yuan, X., Zhang, X., Chen, X., Kong, D., Liu, X., & Shen, S. (2018). Synergistic degradation of crude oil by indigenous bacterial consortium and exogenous fungus *Scedosporium boydii*. *Bioresource technology*, 264, 190-197. doi: 10.1016/j.biortech.2018.05.072.
- Zawawi, M. A., Rosdi, N. I., Mazlan, N. W., Taib, M., Bakar, K., Zin, N. M., ..., & Edrada-Ebel, R. (2022). Elicitation of induced polyketide compounds from a co-culture between *Streptomyces* sp. strain SUK10 and *Fusarium* sp. and their antibacterial activities. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 26(1), 96—108.
- Zhang, L., Niaz, S. I., Khan, D., Wang, Z., Zhu, Y., Zhou, H., ..., & Liu, L. (2017). Induction of diverse bioactive secondary metabolites from the mangrove endophytic fungus *Trichoderma* sp. (strain 307) by co-cultivation with *Acinetobacter johnsonii* (strain B2). *Marine drugs*, 15(2), 35. doi: 10.3390/md15020035.

Zhang, L., Niaz, S. I., Wang, Z., Zhu, Y., Lin, Y., Li, J., & Liu, L. (2018). α -Glucosidase inhibitory and cytotoxic botryorhodines from mangrove endophytic fungus *Trichoderma* sp. 307. *Natural product research*, 32(24), 2887—2892. doi: 10.1080/14786419.2017.1385023.

Zhang, X., Kong, D., Liu, X., Xie, H., Lou, X., & Zeng, C. (2021). Combined microbial degradation of crude oil under alkaline conditions by *Acinetobacter baumannii* and *Talaromyces* sp. *Chemosphere*, 273, 129666. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129666.

BIOSYNTHESIS OF NOBLE METAL NANOPARTICLES. PART 1. USE OF FUNGI, YEAST AND BACTERIA

O. Skrotska, V. Marchenko

National University of Food Technologies

Key words:

Nanoparticles

Noble metals

Fungi

Yeast

Bacteria

Article history:

Received 03.07.2022

Received in revised form

19.07.2022

Accepted 13.08.2022

Corresponding author:

O. Skrotska

E-mail:

skrotska@ukr.net

Citation: Скроцька О. І.,
Марченко В. В. (2023).

Біосинтез наночастинок
благородних металів. Ча-
стина І. Використання
грибів, дріжджів і бакте-
рій. *Наукові праці НУХТ*,
29(3), 50—72.

DOI: 10.24263/2225-
2924-2023-29-3-6

ABSTRACT

Noble metal nanoparticles namely gold (AuNPs), silver (AgNPs), platinum (PtNPs), palladium (PdNPs), rhodium (RhNPs) and ruthenium (RuNPs) can be prepared by chemical, physical and biological methods. Biosynthesis of nanoparticles of these metals using fungi, yeast and bacteria were considered in the article.

The biosynthesis of noble metal nanoparticles using fungi of the genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cordyceps*, *Fusarium*, *Neurospora*, etc. were studied. Information was given on the possibilities of using yeast for the biosynthesis of nanoparticles namely the results of research using the genera *Saccharomyces*, *Rhodotorula*, *Phaffia*, *Candida*, *Yarrowia*, *Pichia* and others. Genera of gram-positive (*Staphylococcus*, *Streptomyces*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Corynebacterium*) and gram-negative bacteria (*Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Escherichia*, *Shewanella*) were used for the biosynthesis of noble metal nanoparticles. The biosynthesis of nanoparticles using bacteria in aerobic and anaerobic conditions was also shown.

Information on the role of various biomolecules (proteins, enzymes, polysaccharides, amino acids) and their active groups (carboxyl, hydroxyl, amide, amine, methyl) in the reduction of metal ions, the formation of nanoparticles and their stabilization was provided. The article also contains material on various biological properties of nanoparticles — antibacterial, antifungal, antitumor, catalytic, etc., which will allow their use in various fields in the future.

When using microorganisms for the biosynthesis of noble metal nanoparticles, both their intracellular and extracellular synthesis is possible. It was also possible to synthesize nanoparticles using exo- and endogenous cellular metabolites when culture fluid supernatant, cell-free aqueous extract or lysate are used. At the same time depending on the biological object and the method of biosynthesis nanoparticles of different shapes (spherical, cubic, icosahedral, triangular, pentagonal, hexagonal) and sizes were formed, which affects their biological properties.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-6

БІОСИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК БЛАГОРОДНИХ МЕТАЛІВ. ЧАСТИНА 1. ВИКОРИСТАННЯ ГРИБІВ, ДРІЖДЖІВ І БАКТЕРІЙ

О. І. Скроцька, В. В. Марченко

Національний університет харчових технологій

Наночастинки благородних металів, зокрема золота (AuNPs), срібла (AgNPs), платини (PtNPs), паладію (PdNPs), родію (RhNPs) та рутенію (RuNPs), можна отримати хімічними, фізичними та біологічними методами. У статті приділено увагу саме біосинтезу наночастинок вказаних металів з використанням грибів, дріжджів і бактерій.

Досліджено біосинтез наночастинок благородних металів з використанням грибів роду *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cordyceps*, *Fusarium*, *Neurospora* тощо. Наведено інформацію щодо можливостей застосування дріжджів для біосинтезу наночастинок, зокрема результати досліджень при використанні родів *Saccharomyces*, *Rhodotorula*, *Phaffia*, *Candida*, *Yarrowia*, *Pichia* тощо. Для біосинтезу наночастинок благородних металів використовують роди грампозитивних (*Staphylococcus*, *Streptomyces*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Corynebacterium*) і грамнегативних бактерій (*Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Escherichia*, *Shewanella*). Також показаний біосинтез наночастинок з використанням бактерій в аеробних та анаеробних умовах.

Наведено інформацію щодо ролі різних біомолекул (білків, ферментів, полісахаридів, амінокислот) та їхніх активних груп (карбоксильні, гідроксильні, амідні, амінні, метильні) у відновленні іонів металів, формуванні наночастинок та їх стабілізації, щодо різних біологічних властивостей наночастинок — антибактеріальних, протигрибкових, антипухлинних, каталітичних тощо, що в подальшому дасть змогу використовувати їх у різних галузях.

При використанні мікроорганізмів для біосинтезу наночастинок благородних металів можливий їх як внутрішньоклітинний, так і позаклітинний синтез. Також можливий синтез наночастинок з використанням екзо- та ендогенних клітинних метаболітів, коли використовують супернатант культуральної рідини, безклітинний водний екстракт або лізат. При цьому залежно від біологічного об'єкта та способу біосинтезу формуються наночастинки різної форми (сферичні, кубічні, ікосаедричні, трикутні, п'ятикутні, шестикутні) та розмірів, що впливає на їх біологічні властивості.

Ключові слова: наночастинки, благородні метали, гриби, дріжджі, бактерії.

Постановка проблеми. До благородних металів відносять дорогоцінні метали — золото і срібло, а також метали платинової групи — платину, паладій, родій, іридій, рутеній та осмій. Наночастинки вказаних металів використовують у різних галузях. У харчовій промисловості можна використовувати пакувальні матеріали з наночастинками для запобігання розвитку патогенних мікроорганізмів у продуктах харчування. Також наночастинки металів можна використовувати для

зnezараження води. Є дослідження щодо їх застосування у сільському господарстві як протигрибкових та антибактеріальних засобів, пестицидів, засобів для біоремедіації ґрунтів. Їх можна використовувати у медицині як антибактеріальні, антигрибкові, антивірусні та антипухлинні сполуки. Досліджуються можливості використання наночастинок для діагностики різних захворювань (Koul, Poonia, Yadav, & Jin, 2021).

Традиційні методи синтезу наночастинок (хімічні і фізичні) є тривалими, трудомісткими та ґрунтуються на використанні токсичних сполук, які в подальшому забруднюють навколишнє середовище (Joudeh, Saragliadis, Koster, Mikheenko, & Linke, 2022). Саме тому нині активно вивчаються нанобіотехнології наночастинок благородних металів з використанням різних біологічних об'єктів. Зважаючи на вищевикладене, **метою цього огляду** є аналіз наукових публікацій щодо можливостей використання грибів, дріжджів і бактерій для біосинтезу даних металевих наночастинок.

Матеріали і методи. Для написання огляду були використані сучасні наукові публікації зарубіжних і вітчизняних вчених у міжнародних та українських виданнях. Проаналізовані публікації стосуються використання грибів, дріжджів і бактерій для біосинтезу наночастинок благородних металів. Пошук публікацій здійснювали з використанням світових наукометричних баз даних PubMed та Google Scholar.

Викладення основних результатів дослідження. *Можливості застосування грибів.* При використанні грибів для біосинтезу наночастинок золота (AuNPs), срібла (AgNPs), платини (PtNPs) та паладію (PdNPs), крім самої біомаси (Syed, 2012; Castro-Longoria, 2012), можна використовувати грибний фільтрат (Birla, 2013; Vala, 2015; Sarkar, 2017), або безклітинний водний екстракт (Mishra, 2012; Mohana, 2020). Якщо наночастинки синтезують з використанням грибної біомаси, то можливий як позаклітинний їх синтез (Syed, 2012; Du, 2015; Costa Silva, 2017), так і внутрішньоклітинний (Castro-Longoria, 2012; Du, 2011; Gupta, 2013).

AuNPs. Для біосинтезу наночастинок золота ряд авторів використовують безклітинні фільтрати або супернатанти міцеліальних грибів. Так, Vala з цією метою використовувала гриби морського походження *Aspergillus sydowii*, які були виділені з вод затоки Хамбхат (західне узбережжя Індії). Гриби культивували впродовж чотирьох діб, після чого отримували грибний фільтрат для синтезу AuNPs (Vala, 2015). В іншому випадку використовували ендofітні гриби *Aspergillus terreus* AREF023. Штам виділили з кореня *Datura metel* (дурман індійський). У цьому дослідженні з метою отримання грибного фільтрату штам AREF023 культивували впродовж 10 діб (Mishra, Kalra, Dilawari, Goel & Barrow, 2022). Barabadi зі співавторами виділили з ґрунту *Penicillium crustosum*, клітини якого культивували 10 діб, після чого отримували супернатант культуральної рідини для подальшого синтезу AuNPs (Barabadi та ін., 2014).

Mishra зі співавторами у своїх дослідженнях використовували *Penicillium rugulosum* KCCM 11686, який культивували упродовж 72 годин. Далі біомасу гриба використовували для отримання безклітинного водного екстракту з живої та інактивованої автоклавуванням при 121 °C біомаси з метою біосинтезу наночастинок золота (Mishra, Tripathy, & Yun, 2012). Також показано синтез AuNPs з використанням біомаси *Cordyceps militaris*, яку обробляли ультразвуком протягом

30 хв, після чого центрифугували та використовували для біосинтезу AuNPs отриманий супернатант (Ji, Cao, & Song, 2019).

Цікавим є дослідження, в якому для біосинтезу наночастинок золота використовують феноли і поліфеноли, що були виділені з клітин висушених трутовиків — *Ganoderma applanatum* (Abdul-Hadi, Owaed, Rabeea, Abdul Aziz, & Jameel, 2020).

Що стосується механізмів біосинтезу AuNPs, то встановлено, що біовідновлення іонів золота ініціюється перенесенням електрона від НАДФН-залежної редуктази як електронного переносника. У свою чергу, ароматичні амінокислоти білків (триптофан і тирозин) як відновники можуть брати участь у біосинтезі наночастинок золота (Barabadi та ін., 2014). Також показано, що присутність рутину, курцетину, епігену, кемферолу та галової кислоти як відновників і стабілізаторів призводить до синтезу AuNPs (Abdul-Hadi, Owaed, Rabeea, Abdul Aziz, & Jameel, 2020). Крім того, доведено, що присутність гідроксильних та алкінових груп у біомолекулах відіграє важливу роль в синтезі наночастинок золота (Ji, Cao & Song, 2019). А наявність карбоксильних, фенольних кислот та амідних зв'язків є важливим для стабілізації та покриття AuNPs (Mishra, Kalra, Dilawari, Goel, & Barrow, 2022).

AgNPs. У багатьох дослідженнях з метою синтезу наночастинок срібла використовують безклітинний фільтрат грибів (Binupriya, 2010; Jain, 2011; Nithya, 2009; Birla, 2013). Проте є дослідження, де використовується фільтрат *Aspergillus oryzae* var. *viridis*, клітини яких попередньо інактивували автоклавуванням при 121 °C протягом 15 хвилин. Отримані AgNPs з використанням саме такого фільтрату мали малі розміри та були однорідними (Binupriya, Sathishkumar, & Yun, 2010).

Цікаво, що у більшості випадків синтез наночастинок срібла з використанням грибів здійснюється у темряві без доступу світла (Jain, 2011; Nithya, 2009). Але Birla зі співавторами показали можливість використання сонячного світла під час біосинтезу AgNPs. Так, отримані наночастинок з середнім розміром 42 нм та максимальним піком поглинання при 449 нм були синтезовані упродовж 10 хвилин. Також біосинтез спостерігався з використанням УФ-світла, де через 24 год утворились AgNPs з адсорбційним піком при 407 нм (Birla, Gaikwad, Gade & Rai, 2013).

Нині відомо, що порівняно з бактеріями грибам більш притаманний позаклітинний механізм біосинтезу AgNPs (Binupriya, 2010; Jain, 2011; Nithya, 2009; Birla, 2013). Причому важливу роль у цих механізмах в основному відіграють різні білки (Jain, 2011; Nithya, 2009; Birla, 2013). Так, було показано, що за використання патогенних цвілевих грибів *Aspergillus flavus* в синтезі наночастинок беруть участь два білка з різною молекулярною масою (32 та 35 кДа). Вказано, що білок з молекулярною масою 32 кДа може бути ферментом редуктазою (Jain, Bhargava, Majumdar, Tarafdar, & Panwar, 2011). Під час біосинтезу AgNPs з використанням патогенних недосконалих грибів *Fusarium oxysporum*, що були виділені з плоду банана, який почав розкладатись, автори виявили у реакційній суміші присутність різних функціональних груп амінокислот, а також фермент редуктазу (Birla, Gaikwad, Gade & Rai, 2013). В іншому дослідженні з *Pleurotus sajor-caju* (глива звичайна сіра) автори встановили, що триптофан, тирозин або фенілаланін беруть участь у процесах біосинтезу наночастинок срібла (Nithya & Ragunathan, 2009).

PtNPs. Досліджено позаклітинний синтез PtNPs з використанням біомаси мезофільних грибів *Fusarium oxysporum*. При чому культивування грибів з метою отримання біомаси відбувалось упродовж 5 днів при 25 °C та pH 7 (Syed & Ahmad, 2012). Інші автори для біосинтезу наночастинок платини використовували біомасу та екстракт міцеліальних грибів *Neurospora crassa*. Культивування грибів здійснювали упродовж 24 годин при 28 °C. При цьому при використанні біомаси *N. crassa* відбувається внутрішньоклітинний синтез PtNPs (Castro-Longoria, Moreno-Velasquez, Vilchis-Nestor, Berumen, & Borja, 2012). Також біосинтез PtNPs спостерігали при використанні фільтрату недосконалих грибів *Alternaria alternata* MAMP/C/51, які культивували 15 діб при 30 °C та pH 5 (Sarkar & Acharya, 2017). Досліджено біосинтез наночастинок платини при використанні безклітинного фільтрату *Penicillium chrysogenum* KACC 425892. При цьому гриби культивували 48 год при 37 °C у змодельованих умовах мікрогравітації (Subramaniam та ін. 2018).

Стосовно механізму біосинтезу наночастинок платини ряд авторів зазначають, що важливу роль при цьому мають поверхнево-зв'язані білкові молекули, які позаклітинно виділяються грибами. Так, присутність гідроксильних та альдегідних зв'язків в досліджуваних розчинах свідчить про наявність білків та інших органічних сполук, які беруть участь у синтезі PtNPs (Sarkar & Acharya, 2017). Крім цього, білки можуть зв'язуватися з наночастинок платини або через вільні аміні групи, або через залишки цистеїну в білках з метою стабілізації утворених наночастинок (Syed & Ahmad, 2012).

PdNPs. Для біосинтезу наночастинок паладію можна використовувати безклітинний водний екстракт *Inonotus obliquus*. Гриб паразитує на деревах, викликаючи білу серцевинну гниль деревини. Досліджуючи біосинтез PdNPs при використанні *I. obliquus*, автори встановили, що саме сполуки фенольних кислот беруть участь у формуванні наночастинок. (Gil та ін., 2018). Також показано можливість використання істівних грибів для біосинтезу PdNPs. Зокрема, вперше про можливість використання печериці садової для біосинтезу наночастинок паладію було повідомлено у 2020 році. При цьому для самого біосинтезу автори використовували водний екстракт грибів. Є дослідження біосинтезу наночастинок паладію з використанням водного екстракту печериці садової — *Agaricus bisporus*. Показано, що біосинтез PdNPs відбувається за участі полісахаридів, амідів і фенольних кислот, що відновлюють паладій і стабілізують наночастинок. Були досліджені різні біологічні властивості наночастинок паладію. При цьому вони мали значно більшу антибактеріальну активність щодо грампозитивних бактерій, ніж до грамнегативних, що пов'язано із особливостями будови клітинних стінок цих груп бактерій (Mohana, & Sumathi, 2020).

При використанні біомаси *Phanerochaete chrysosporium* був показаний позаклітинний синтез наночастинок паладію. Авторі дослідження передбачають, що на основі вказаних грибів можна буде розробляти мембрани для очищення промислових стічних вод з метою видалення з них іонів паладію та перетворення їх у наночастинок (Tarver та ін., 2019).

Узагальнена інформація щодо біосинтезу наночастинок благородних металів з використанням грибів наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Використання грибів для біосинтезу наночастинок благородних металів

Гриби	Характеристика наночастинок		Біологічні властивості наночастинок		Джерело
	Форма, розміри	Параметри біосинтезу			
AuNPs					
<i>Aspergillus sydowii</i>	Сферичні, 7-15 нм	27 °C, 72 год	*		Vala, 2015
<i>Aspergillus terreus</i> AREF023	Сферичні, 10 нм	40 °C, 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> MTCC737, <i>Vibrio cholera</i> N16961; антифунгальна активність щодо <i>Fusarium oxysporum</i> ITCC 6709, <i>Rhizoctonia solani</i> AG1-IA		Mishra, Kalra, Dilawari, Goel, & Barrow, 2022
<i>Penicillium rugulosum</i> KCCM 11686	Сферичні, 20—40 нм	30 °C, 72 год	Кон’югація з геномною ДНК бактерій <i>Escherichia coli</i> та <i>Staphylococcus aureus</i>		Mishra, Tripathy, & Yun, 2012
<i>Penicillium crustosum</i>	Сферичні, 100 нм	28 °C, 24 год	*		Barabadi та ін., 2014
<i>Cordyceps militaris</i>	Кубічні, 15—20 нм	25 °C, 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин HepG2 (гепатоцелюлярна карцинома)		Ji, Cao & Song, 2019
<i>Ganoderma applanatum</i>	Кубічні, ≈ 18 нм	80 °C, 15 хв	*		Abdul-Hadi, Owaid, Rabeea, Abdul Aziz, & Jameel, 2020
AgNPs					
<i>Aspergillus oryzae</i> var. <i>viridis</i> KCCM 11372	Сферичні, 5—50 нм	25 °C, 72 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> KCCM 12256		Binupriya, Sathishkumar, & Yun, 2010
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	Сферичні, 5—50 нм	25 °C, 72 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i>		Nithya, & Ragunathan, 2009
<i>Aspergillus flavus</i> NJP08	Сферичні, 10—35 нм	28 °C, 72 год	*		Jain, Bhargava, Majumdar, Tarafdar, & Panwar, 2011
<i>Fusarium oxysporum</i>	Сферичні, 15-35 нм	22—25 °C (кімнатна), 45 хв	*	Birla, Gaikwad, Gade, & Rai, 2013	
PtNPs					
<i>Fusarium oxysporum</i>	Сферичні, 5—30 нм	25—27 °C, 96 год	*		Syed, & Ahmad, 2012

Продовження таблиці 1

<i>Penicillium chrysogenum</i> KACC 425892	Сферичні, ≈ 8,5 нм	100 °С, 12 год	Антиоксидантна активність; протипухлинна дія щодо ракових клітин C2C12; антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Streptococcus pyogenes</i> , <i>Enterococcus faecalis</i>	Subramaniyan та ін. 2018
<i>Neurospora crassa</i>	Сферичні, 20—110 нм	28 °С, 24 год	*	Castro-Longoria, Moreno-Velasquez, Vilchis-Nestor, Berumen, & Borja, 2012
<i>Alternaria alternata</i> MAMP/C/51	Різної форми (квазісферичні, прямокутні, тетраедричні, гексагональні, багатокутники), 50—315 нм	30 °С, 24 год	*	Sarkar, & Acharya, 2017
PdNPs				
<i>Agaricus bisporus</i>	Сферичні, ≈ 15 нм	22—25 °С (кімнатна), 30 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Streptococcus pyrogens</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> ; протипухлинна активність щодо клітин РК13 (рак нирок); антиоксидантна активність	Mohana, & Sumathi, 2020
<i>Inonotus obliquus</i>	Сферичні з пористою структурою, 70-100 нм	60 °С, 3 год	Протипухлинна активність щодо клітин HeLa (рак шийки матки)	Gil та ін., 2018
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Кубічні, 10-14 нм	37 °С, 48 год	Каталітична активність у реакціях Хека і Судзукі	Tarver та ін., 2019

Примітка: * — автори не досліджували біологічну активність наночастинок.

Дріжджі у біосинтезі наночастинок. Для біосинтезу наночастинок благородних металів можна використовувати біомасу дріжджів (Borse, 2015; Zhang, 2016; Alamri, 2018), супернатант (Jalal, 2018; Gayda, 2019; Liu, 2021), безклітинний лізат (Qu, 2018; Ronavari, 2018; Eramabadi, 2020) та безклітинний водний екстракт (Bolbanabad, 2020; Soliman, 2018; Skrotska, 2021). Нижче охарактеризовані різні можливості використання дріжджів для біосинтезу наночастинок.

AuNPs. Наночастинки золота можна отримати за допомогою біомаси дріжджів. Так, у 2016 р. вперше був досліджений біосинтез AuNPs з використанням біомаси морських дріжджів *Magnusiomyces ingens* LH-F1. При цьому біосинтезовані AuNPs не були зв'язані з клітинними компонентами і знаходились у позаклітинному середовищі (Zhang та ін., 2016). У подальшому був досліджений синтез наночастинок золота з використанням безклітинного лізату *M. ingens* LH-F1. Його готували шляхом заморожування та розморожування культуральної рідини з подальшою обробкою ультразвуком, після чого центрифугували і фільтрували надосадову рідину (Qu та ін., 2018).

Ronavari зі співавтор. досліджували можливість використання безклітинного лізату дріжджів *Phaffia rhodozyma* ATCC 24203 з високим вмістом антиоксиданту атаксантину для біосинтезу AuNPs. Автори отримували дріжджовий лізат шляхом механічного руйнування клітин дріжджів у дистильованій воді з подальшим відділенням клітинних залишків (Ronavari, Igaz & Gopisetty, 2018). Krishnan зі співавтор. по-іншому отримували лізат для біосинтезу наночастинок золота. Дослідники до клітинної суспензії *Candida parapsilosis* ATCC 7330 у фосфатному буфері додавали фенілметилсульфонілфторид (інгібітор протеази), після чого обробляли клітини ультразвуком і центрифугували (Krishnan, Narayan & Chadha, 2016).

Також описаний біосинтез наночастинок золота з використанням розчину піомеланіну, який був виділений з дріжджів *Yarrowia lipolytica* W29 (Tahar та ін., 2019).

Щодо механізмів біосинтезу AuNPs, то встановлено, що при використанні біомаси дріжджів іони золота (Au^{3+}) відновлюються (Au^0) за участі специфічних біомолекул на поверхні клітини або у її цитоплазмі. Далі відбувається формування наночастинок та їх стабілізація за участі інших біомолекул, після чого відбувається вихід AuNPs з клітини в середовище. При цьому амідні, карбоксильні на гідроксильні групи білків можуть брати участь у відновленні золота та формуванні наночастинок (Zhang та ін., 2016). Білки, що містять амідні та гідроксильні групи, можуть адсорбуватися на поверхні AuNPs, спричиняючи зменшення концентрації Au^{3+} та стабілізації AuNPs (Zhang та ін., 2016). Крім того, показано, що саме амінні та карбоксильні групи білків, а не цілісні білкові молекули беруть участь у біосинтезі наночастинок золота (Qu та ін., 2018). Також встановлено, що НАДН бере участь у відновленні Au^{3+} до Au^0 , але він не бере участі у стабілізації вже утворених наночастинок. Зроблено припущення, що за стабілізацію наночастинок золота відповідають вуглеводи і цукри (Kumar, Karthik, Kumar & Roa, 2011). Показано, що біосинтез AuNPs може здійснюватись і без участі активних ферментів, оскільки в безклітинних екстрактах *Candida parapsilosis* ATCC 7330, які не мали редуктазної активності теж спостерігали біосинтез наночастинок. Тобто можлива неспецифічна редукція іонів золота з використанням інших відновників, які є у дріжджовій клітині (Krishnan, Jayakumar, Madhyastha & Chadha, 2021). Іншим механізмом біосинтезу наночастинок золота з використанням дріжджів може бути редукція іонів Au^{3+} та стабілізація AuNPs за допомогою амінокислот, особливо глутамінової кислоти, а також органічних кислот — бурштинової, яблучної та молочної (Yang та ін., 2017).

AgNPs. Показаний внутрішньоклітинний біосинтез наночастинок срібла в аеробних та анаеробних умовах з використанням біомаси *Meyerozyma guilliermondii* KX008616. AgNPs формувались у вигляді кластерів у цитоплазмі, або у внутрішніх і зовнішніх шарах клітинної стінки *M. guilliermondii* KX008616 (Alamgi та ін., 2018).

Досліджено біосинтез AgNPs при використанні супернатанту культуральної рідини *Candida glabrata*. Дріжджі були виділені з ротоглотки осіб, що хворіли на кандидоз ротової порожнини (Jalal та ін., 2018). Також встановлено можливість синтезу наночастинок срібла з використанням супернатанту дріжджів *Metschnikowia* sp. HX-YS, які були виділені з поверхні глоду *Crataegus pinnatifida* (Liu та ін., 2021). Досліджений біосинтез наночастинок срібла з використанням супернатанту культуральної рідини та безклітинного екстракту *Saccharomyces cerevisiae* M437. При цьому AgNPs, які були отримані з використанням безклітинного водного екстракту, були більш стабільними в процесі зберігання, ніж наночастинок, отримані з використанням супернатанту (Skrotska, Kharchenko, Laziuka, Marynin, & Kharchuk, 2021).

Bolbanabad зі співатор. показали біосинтез AgNPs з використанням клітин та безклітинних водних екстрактів *Yarrowia lipolytica* DSM 3286. При використанні клітин наночастинок синтезуються в клітині, після чого секретируються назовні. При використанні безклітинного екстракту біосинтез AgNPs відбувався у 5 разів швидше, ніж при використанні біомаси, але наночастинок мали вдвічі більший розмір (Bolbanabad, Ashengroph & Darvishi, 2020).

Іншими авторами також досліджений біосинтез наночастинок срібла з використанням безклітинного водного екстракту дріжджів: *Aureobasidium pullulans* RYLF 10 (Rahi, Manhas, Kaur, Malik, & Rahi, 2018), *Rhodotorula glutinis* і *Rhodotorula mucilaginosa* (Cunha та ін., 2018), *Rhodotorula* sp. ATL72 (Soliman, Elsayed, & Dyaa, 2018).

Якщо розглядати механізми біосинтезу наночастинок срібла за допомогою дріжджів, то вважається, що білки, амінокислоти, ферменти, вітаміни, полісахариди діють як відновники і стабілізатори AgNPs. При використанні безклітинного водного дріжджового екстракту формування наночастинок срібла розпочинається з відновлення іонів Ag^+ до Ag^0 сполуками, що містяться в самому екстракті, включаючи амінокислоти, вітаміни та вуглеводи. А далі відбувається стабілізація утворених AgNPs (Shu та ін., 2020). Однак найбільш широко прийнятий механізм біосинтезу наночастинок срібла при використанні дріжджів, що обумовлений НАДН-залежною нітратредуктазою. Встановлено, що відновлення іонів срібла відбувається за допомогою перенесення електронів з НАДН. Після чого відбувається стабілізація AgNPs за рахунок наявних у реакційній суміші біомолекул (Shabbir, & Mohammad, 2018).

Під час внутрішньоклітинного синтезу наночастинок срібла можливі різні варіанти їх формування. Перший — участь системи ферментів нітратредуктаз, які каталізують реакції відновлення іонів срібла в присутності АТФ і НАДН. Другий — активація специфічного поліпептиду, який може зв'язуватись з катіонами срібла, утворюючи при цьому специфічний комплекс, що транспортується у клітинні вакуолі, де й відбувається відновлення іонів срібла. Третій — утворення

AgNPs на поверхні клітин. Це може бути обумовлено електростатичною взаємодією між Ag^+ і наявними на поверхні дріжджових клітин негативно зарядженими карбоксилатними групами специфічних ферментів або білків (Alamri та ін., 2018).

PtNPs. Показано внутрішньоклітинний синтез наночастинок платини з використанням біомаси пробіотичних дріжджів *Saccharomyces boulardii*, а також можливість використання безклітинного водного екстракту для біосинтезу PtNPs. Автори встановили, що саме амідні і гідроксильні групи білкових молекул беруть участь у відновленні іонів платини, а також формуванні та стабілізації наночастинок платини (Borse, Kaler, & Banerjee, 2015).

Eramabadi із співавтор. використовували клітинний лізат *Rhodotorula mucilaginosa* CCV1 для біосинтезу PtNPs. Для цього дріжджі культивували 7 діб, після чого відділяли клітини, промивали дистильованою водою і руйнували ультразвуком, а далі відділяли клітинний дебрис і для біосинтезу наночастинок використовували супернатант клітинного лізату. Також доведена ключову роль різних груп білкових молекул у біосинтезі наночастинок платини (Eramabadi, Masoudi, Makhdoumi, & Mashreghi, 2020).

PdNPs. Встановлено можливість біосинтезу PdNPs з використанням супернатанту рекомбінантних термотолерантних дріжджів *Ogataea polymorpha* NCYC495-pGAP1-HsARG1. На моделі амперометричних біоелектродів на основі лакази та алкогольоксидази для визначення фенольних сполук і спиртів було показано можливість застосування PdNPs у біосенсорах. Також показано, що з використанням супернатанту вказаних дріжджів можна синтезувати наночастинки інших благородних металів — золота, срібла та платини. Автори встановили, що амідні, метильні, метиленові та гідроксильні групи біомолекул, що містяться у супернатанті, беруть участь у біосинтезі наночастинок (Gayda та ін., 2019).

Sriramulu та Sumathi для біосинтезу PdNPs використали сухі хлібопекарські дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*. Їх упродовж 30 хв витримували у воді при кімнатній температурі, після чого відбирали водний розчин, вносили в нього ацетат паладію і досліджували біосинтез наночастинок. Показано, що гідроксильні та інші функціональні групи білків беруть участь у біосинтезі та стабілізації і стабілізують PdNPs (Sriramulu & Sumathi, 2018).

Для отримання наночастинок паладію Chen зі співавтор. у своїх дослідженнях використовували висушені дріжджі *Pichia pastoris* GS115 (Chen та ін., 2014; Chen та ін., 2021). При цьому автори порівнювали синтез наночастинок без попереднього оброблення клітин та з попередньою обробкою водними розчинами соляної кислоти та гідроксиду натрію, а також метилюванням аміногруп шляхом додавання мурашиної кислоти та формальдегіду. В результаті PdNPs, які були отримані за попередньої обробки клітин, демонстрували вищу стабільність, були меншими за розмірами та більш диспергованими. Дослідження механізму синтезу наночастинок показали, що саме біомолекули із амідними зв'язками беруть у цьому безпосередню участь (Chen та ін., 2014). В іншому дослідженні автори синтезували наночастинки паладію за допомогою невеликої кількості відновленого оксиду графену для покриття та стабілізації Pd^{2+} за рахунок електростатичного притягання з метою подальшого відновлення до Pd^0 . При цьому функціональні групи (гідроксильні, карбоксильні, аміногрупи) на поверхні клітин беруть

участь в адсорбції та відновленні іонів паладію та відіграють важливу роль у синтезі наночастинок (Chen та ін., 2021).

Різні параметри біосинтезу наночастинок благородних металів з використанням дріжджів та їх біологічна активність вказані у табл. 2.

Таблиця 2. Дріжджі для біосинтезу наночастинок

Дріжджі	Характеристика наночастинок		Біологічні властивості наночастинок	Джерело
	Форма, розміри	Параметри біосинтезу		
AuNPs				
<i>Phaffia rhodozyma</i> ATCC 24203	Сферичні, 4—7 нм	22 °C, 24 год	Нетоксичні по відношенню до нормальних клітин HaCaT (кератиноцити шкіри); протигрибкова активність щодо <i>Cryptococcus neoformans</i> IFM 5844	Ronavari, Igaz, & Gopisetty, 2018
<i>Candida parapsilosis</i> ATCC 7330	Сферичні, 50—60 нм	37 °C, 72 год	Каталітична активність щодо відновлення 4-нітрофенолу	Krishnan, Narayan, & Chadha, 2016
<i>Yarrowia lipolytica</i> W29	Сферичні, 104 нм	50 °C, 24 год	Відсутність цитотоксичності щодо клітин NIH3T3 (фібробласти миші) та U2OS (остеосаркома людини)	Tahar та ін., 2019
<i>Magnusiomyces ingens</i> LH-F1	Більшість — сферичні або майже сферичні, 20—30 нм	30 °C, 48 год	Каталітична активність щодо відновлення нітрофенолів до амінофенолів	Qu та ін., 2018
	Різної форми (сферичні, трикутні, п'ятикутні, шестигнутні, неправильної форми), ≈ 80 нм	30 °C, 24 год		Zhang та ін., 2016
AgNPs				
<i>Candida glabrata</i>	Сферичні, овальні, 2—15 нм	22-25 °C (кімнатна), 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Shigella flexneri</i> ; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i> , <i>Candida tropicalis</i> , <i>Candida parapsilosis</i> , <i>Candida dubliniensis</i> , <i>Candida krusei</i> , <i>Candida glabrata</i>	Jalal та ін., 2018

<i>Aureobasidium pullulans</i> RYLF 10	Сферичні, 2—54 нм	27 °C, 120 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella typhi</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Moraxella</i> sp.	Rahi, Manhas, Kaur, Malik, & Rahi, 2018
<i>Meyerozyma guilliermondii</i> KX008616	Сферичні, 2,5—30 нм	30 °C, 24 год	*	Alamri та ін., 2018
<i>Rhodotorula</i> sp. ATL72	Сферичні, овальні, 9—21 нм	22-25 °C (кімнатна), 24 год	Антимікробна активність щодо <i>Streptococcus</i> sp., <i>Bacillus</i> sp., <i>Staphylococcus</i> sp., <i>Shigella</i> sp., <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Klebsiella</i> sp., <i>Candida</i> sp.	Soliman, Elsayed, & Dyaa, 2018
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	Сферичні, 11—30	25 °C, 168 год	Протикандидозна активність щодо <i>Candida parapsilosis</i> ; каталітична активність щодо деградації 4-нітрофенолу та метиленового синього	Cunha та ін., 2018
<i>Rhodotorula glutinis</i>	Сферичні, 14—60 нм			
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> M437	Сферичні, овальні, 15—30 нм	45 °C, 72 год	*	Skrotska, Kharchenko, Laziuka, Marynin, & Kharchuk, 2021
<i>Yarrowia lipolytica</i> DSM 3286	Сферичні, 24 нм	30 °C, 16 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC33591, <i>Escherichia coli</i> ATCC25922, <i>Enterococcus faecalis</i> ATCC29212, <i>Proteus vulgaris</i> ATCC49132, <i>Streptococcus pyogenes</i> ATCC19615, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27853	Bolbanabad, Ashengroph, & Darvishi, 2020
<i>Metschnikowia</i> sp. HX-YS	Сферичні, 50—100 нм	28 °C, 96 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> ATCC8099, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC6538; протипухлинна активність по відношенню до клітин A549, H1975 (карцинома легень); відсутність цитотоксичності щодо клітин Beas 2B (епітеліальні клітини легень людини)	Liu та ін., 2021
PtNPs				
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i> CCV1	Сферичні, 3 нм	90 °C, 1 год	Антиоксидантна активність; антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	Eramabadi, Masoudi, Makhdoumi, & Mashreghi, 2020
<i>Saccharomyces boulardii</i>	Сферичні, 80—150 нм	35 °C, 36 год	Протипухлинна активність щодо клітин A431 (епідермальна карцинома) і MCF-7 (аденокарцинома молочної залози)	Borse, Kaler, & Banerjee, 2015

PdNPs				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Різної форми (сферичні, трикутні, кубічні, шестикутні), 32 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Фотокалітична активність щодо текстильного барвника прямого синього	Sriramulu, & Sumathi, 2018
<i>Ogataea polymorpha</i> NCYC495-pGAP1-HsARG1	Різної форми	37 °C, 120 год	*	Gayda та ін., 2019
<i>Pichia pastoris</i> GS115	Сферичні, 2—17 нм	30 °C, 2 год	Каталітична активність щодо деградації 4-нітрофенолу	Chen та ін., 2014
	Сферичні, 15—21 нм	30 °C, 5 год	Каталітична активність щодо деградації 4-нітрофенолу та метиленового синього	Chen та ін., 2021

Примітка: * — автори не досліджували біологічну активність наночастинок.

Використання бактерій та продуктів їх біосинтезу. Для біосинтезу наночастинок благородних металів використовують як супернатант культуральної рідини (Juibari, 2011; Syed, 2016; Baskaran, 2017; Shunmugam, 2021; Sharma, 2022;), так і самі клітини бактерій (Korbekandi, 2012; Srivastava, 2012; Martins, 2017). При використанні супернатанту відбувається безклітинний синтез наночастинок за участі екзогенних бактеріальних метаболітів. Коли ж використовують біомасу бактерій, то можливий як внутрішньоклітинний (Gaidhani, 2014; Omajali, 2015; Cui, 2017), так і позаклітинний (Soltani, 2015; Gowtamma, 2015; Ahmed, 2018) біосинтез. Розглянемо детальніше можливі варіанти біосинтезу наночастинок різних благородних металів з використанням бактерій та їх метаболітів.

AuNPs. Дослідники довели, що для біосинтезу наночастинок золота можна використовувати супернатант культуральної рідини бактерій. Зокрема, досліджено біосинтез наночастинок золота з використанням супернатанту після 24-годинного культивування грамнегативних бактерій *Klebsiella pneumoniae* MTCC-4030 (Prema, Iniya & Immanuel, 2016). Безклітинний біосинтез AuNPs спостерігали при використанні супернатанту після 24-годинного культивування бактерій *Pseudomonas denitrificans*. До речі, ці мікроорганізми є грамнегативними факультативно-анаеробними денітрифікуючими бактеріями. Автори дослідили два температурних режими біосинтезу: 37 та 100 °C. При цьому при вищій температурі біосинтезу швидкість реакції відновлення золота була на порядок вищою, але наночастинок при цьому формували конгломерати. Слід наголосити, що рН реакційної суміші становив 3,0. (Mewada, Oza, Pandey & Sharon, 2012). Також показано біосинтез AuNPs при використанні супернатанту культуральної рідини ендofітних бактерій *Pseudomonas fluorescens* CA 417 (Syed, Prasad & Satish, 2016). Встановлено біосинтез AuNPs при використанні супернатанту грампозитивних бактерій *Staphylococcus epidermidis* MTCC-435, які є представниками нормальної мікро-

флори шкіри людини (Srinath & Ravishankar, 2015). Крім того, морські мікроорганізми здатні до біосинтезу наночастинок золота, зокрема, досліджено біосинтез AuNPs при використанні супернатанту грамнегативних морських бактерій *Vibrio alginolyticus* (Shunmugam та ін., 2021).

Цікавим є дослідження біосинтезу AuNPs з використанням мембранної фракції інактивованих автоклавуванням клітин *Escherichia coli* K12. При цьому pH реакційної суміші (мембранна фракція бактеріальних клітин, тетрахлороаурат водню, дистильована вода) був на рівні 2,8. Автори зробили припущення, що саме мембраннозв'язані білки можуть брати участь у процесі біосинтезу AuNPs, оскільки при використанні розчинної фракції автоклавованих клітин біосинтезу наночастинок золота не спостерігалось (Srivastava, Yamada, Ogino & Kondo, 2013).

Показано синтез наночастинок золота при використанні живої біомаси ґрунтових грампозитивних клітин *Streptomyces fulvissimus* U, які були виділені із рисових полів. При цьому наночастинок синтезувались позаклітинно (Soltani, Shahidi & Khaleghi, 2015).

Щодо механізмів біосинтезу наночастинок золота, то показано, що в позаклітинному біосинтезі AuNPs бере участь нітратредуктаза (Mewada, Oza, Pandey & Sharon, 2012). Також встановлено, що у відновленні іонів золота та формуванні наночастинок беруть участь бактеріальні сполуки, присутні у супернатанті, зокрема такі, що містять CH_3^- , OH^- , CF^- , CBr^- та карбонільні групи (Syed, 2016; Shunmugam, 2021).

AgNPs. На сьогодні досліджено біосинтез наночастинок срібла при використанні супернатанту культуральної рідини грамнегативних бактерій *Escherichia coli* DH5 (Gurunathan та ін., 2009), термофільних бактерій *Ureibacillus thermosphaericus* (Juibari, Abbasalizadeh, Jouzani & Noruzi, 2011), пробіотичних бактерій *Lactobacillus crustorum* F11 (Sharma, Sharma & Kaushal, 2022). Зазвичай, біосинтез AgNPs проводять у темноті, проте при використанні супернатанту грампозитивних бактерій *Staphylococcus aureus* на початку біосинтезу реакційну суміш витримували 5 хв при яскравому освітленні (Nanda & Saravanan, 2009).

Показано синтез AgNPs при використанні біомаси ендofітних бактерій *Bacillus cereus*. При цьому наночастинок синтезувались позаклітинно. У випадку використання супернатанту автори не спостерігали біосинтезу наночастинок, що говорить про те, що саме бактеріальні клітини відповідальні за їх біосинтез (Sunkar & Nachiyar, 2012). Також позаклітинний синтез наночастинок срібла показаний при використанні біомаси ґрунтових грампозитивних бактерій *Corynebacterium glutamicum* (Gowramma, Keerthi, Rafi, & Rao, 2015). Разом з тим досліджено внутрішньоклітинний синтез AgNPs при використанні ґрунтових грампозитивних бактерій *Bacillus cereus* PGN1. Штам було виділено зі стічних вод гальванічного виробництва (Babu, & Gunasekaran, 2009). Також показаний внутрішньоклітинний синтез наночастинок срібла при використанні біомаси молочнокислих бактерій *Lactobacillus casei* subsp. *casei*. Автори припустили, що іони срібла проникають всередину бактеріальних клітин, а потім відновлюються ферментами, що присутні у цитоплазмі (Korbekandi, Iravani & Abbasi, 2012).

Досліджуючи біомолекули, які можуть брати участь у біосинтезі AgNPs, вчені довели, що вільні амінні та карбонільні групи, які наявні у бактеріальних білках можуть брати участь у формування та стабілізації наночастинок срібла (Babu &

Gunasekaran, 2009). Також OH-, CH- та NH-групи білків можуть зв'язуватись з іонами срібла і брати участь у його відновленні та формуванні наночастинок (Sunkar, & Nachiyar, 2012). Гідроксильні, білкові та карбоксильні групи беруть участь у біосинтезі AgNPs при використанні пробіотичних штамів бактерій (Sharma, Sharma & Kaushal, 2022).

PtNPs. Одне із перших повідомлень про біосинтез наночастинок платини стосується використання біомаси грамнегативних морських бактерій *Shewanella algae* ATCC 51181, які є факультативними анаеробами. При цьому PtNPs були локалізовані у периплазмі клітин між внутрішньою та зовнішньою цитоплазматичною мембраною. Вважається, що іони платини поглинаються із водного розчину клітинами і в периплазмі відбувається їх ферментативне відновлення (Konishi та ін., 2007).

Досліджено біосинтез PtNPs з використанням біомаси сульфатредукуючих анаеробних бактерій *Desulfovibrio vulgaris* DSM 644. Наночастинки синтезувались у периплазматичному просторі, після чого проходили через зовнішню цитоплазматичну мембрану і накопичувались на поверхні клітин. Можливо саме клітинні гідрогенази, які функціонують у периплазмі і беруть участь у відновленні іонів платини (Martins та ін., 2017).

Також показано внутрішньоклітинний синтез PtNPs при використанні бактерій *Acinetobacter calcoaceticus* PUCM 101, які були виділені з африканського проса *Pennisetum glaucum*. Було встановлено, що в клітинах *A. calcoaceticus* PUCM 101, в яких відбувається біосинтез PtNPs синтезуються чотири типи білків з молекулярною масою 29, 43, 66 і 97 кДа. Автори виділили їх та реалізували біосинтез PtNPs з використанням різних комбінацій цих білків у безклітинному середовищі. При цьому при використанні кожного з білків окремо не відбувався біосинтез PtNPs. Тож автори припустили, що в досліджуваних бактеріальних клітинах відбувається багатостадійний процес відновлення іонів платини (IV) до платини (0) та формування PtNPs за рахунок участі більш, ніж одного білка. Ці білки не тільки беруть участь у синтезі наночастинок, але й стабілізують їх, утворюючи стабільний неколоїдний розчин (Gaidhani, Yeshvekar, Shedbalkar, Bellare, & Chopade, 2014).

Є повідомлення про безклітинний синтез PtNPs з використанням супернатанту культуральної рідини морських актинобактерій *Streptomyces* sp. Автори запропонували механізм синтезу PtNPs, який полягає у відновленні іонів платини ферментом хлоридредуктазою (Baskaran та ін., 2017).

PdNPs. Досліджено внутрішньоклітинний біосинтез PdNPs грамположитивними бактеріями *Enterococcus faecalis* CTCCC M2012445, який складається з кількох етапів: біосорбція іонів паладію (II) з розчину в середину клітини, біовідновлення та формування наночастинок паладію. Автори встановили, що карбоксильні та гідроксильні групи, а також аміногрупи є основними функціональними групами, що беруть участь у внутрішньоклітинному біосинтезі PdNPs (Cui та ін., 2017). Також досліджено внутрішньоклітинний біосинтез наночастинок паладію при використанні грамположитивних аеробних бактерій *Bacillus benzeovorans* NCIMB 12555 та грамнегативних анаеробних бактерій *Desulfovibrio desulfuricans* NCIMB 8307 та NCIMB 8326 (Omajali, Mikheenko, Merroun, Wood, & Macaskie, 2015). Показано можливість біосинтезу PdNPs в анаеробних умовах за допомогою біомаси

грамнегативних бактерій *Shewanella oneidensis* MR-1. При цьому наночастинки локалізувались у зовнішній та внутрішній цитоплазматичній мембрані та периплазматичному просторі. Дослідники встановили ключову роль НАДН-дегідрогеназ та гідрогеназ (HydA и HydB) у біосинтезі внутрішньоклітинних наночастинок паладію (Yang та ін., 2020).

Ahmed зі співавторами дослідили позаклітинний біосинтез PdNPs при використанні електрохімічно активної біоплівки анаеробних бактерій *Shewanella loihica* PV-4. Також було показано здатність даного штаму бактерій до позаклітинного біосинтезу золота і платини (Ahmed, Kalathil, Shi, Alharbi & Wang, 2018).

Наночастинки родію (RhNPs) і рутенію (RuNPs). З використанням грамнегативних аеробних клітин *Pseudomonas aeruginosa* SM1 був реалізований біосинтез наночастинок родію та рутенію. Слід відмітити, що автори дослідили здатність даних бактерій до біосинтезу і інших наночастинок — срібла, паладію, платини, заліза, нікелю, кобальту і літію. При цьому спостерігали внутрішньоклітинний біосинтез лише для наночастинок кобальту і нікелю, а наночастинки інших металів синтезувались позаклітинно. Автори зробили припущення, що саме первинні та вторинні аміни беруть участь у відновленні металів, формуванні наночастинок та їх подальшій стабілізації (Srivastava, & Constanti, 2012).

У табл. 3 наведена узагальнена інформація щодо можливостей використання бактерій для біосинтезу наночастинок різних благородних металів.

Таблиця 3. Синтез наночастинок благородних металів з використанням бактерій

Бактерії	Характеристика наночастинок		Біологічні властивості наночастинок	Джерело
	Форма, розміри	Параметри біосинтезу		
AuNPs				
<i>Klebsiella pneumoniae</i> MTCC-4030	Сферичні, 10—15 нм	37 °C, 24 год	Антимікробна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	Prema, Iniya, & Immanuel, 2016
<i>Staphylococcus epidermidis</i> MTCC-435	Сферичні, 20—25 нм	100 °C, 10 хв	Каталітична активність щодо деградації метиленового синього	Srinath, & Ravishankar, 2015
<i>Escherichia coli</i> K12	Сферичні, ≈ 50 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Каталітична активність щодо деградації 4-нітрофенолу	Srivastava, Yamada, Ogino, & Kondo, 2013
<i>Pseudomonas denitrificans</i>	Кубічні, 25—30 нм	37 °C, 4 год	*	Mewada, Oza, Pandey, & Sharon, 2012
<i>Pseudomonas fluorescens</i> CA 417	Полідисперсні різної форми (сферичні, трикутні, шестигунні), 5—50 нм	22—25 °C (кімнатна), 20 хв	Антимікробна активність щодо клінічних штамів <i>Pseudomonas aeruginosa</i> MTCC 7903, <i>Escherichia coli</i> MTCC 7410, <i>Staphylococcus aureus</i> MTCC 7443, <i>Bacillus subtilis</i> MTCC 121, <i>Klebsiella pneumoniae</i> MTCC 7407	Syed, Prasad, & Satish, 2016

Продовження таблиці 3

<i>Streptomyces fulvissimus</i> U	Різної форми (трикутні, сферичні), 20-50 нм	30 °C, 48 год	*	Soltani, Shahidi, & Khaleghi, 2015
<i>Vibrio alginolyticus</i>	Монодисперсні неправильної форми, 50—100 нм	40 °C, 24 год	Протипухлинна активність по відношенню до клітин HCA-7 (карцинома товстої кишки людини); антиоксидантна активність; металохелатуюча активність	Shunmugam та ін., 2021
AgNPs				
<i>Bacillus cereus</i> PGN1	Сферичні, 4-5 нм	37 °C, 120 год	*	Babu, & Gunasekaran, 2009
<i>Lactobacillus crustorum</i> F11	Сферичні, 5 нм	30 °C, 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> IGMC, <i>Listeria monocytogenes</i> MTCC839, <i>Bacillus cereus</i> CRI; протигрибкова активність щодо <i>Pythium aphanidermatum</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Phytophthora parasitica</i>	Sharma, Sharma, & Kaushal, 2022
<i>Escherichia coli</i> DH5	Сферичні, 10—15 нм	60 °C, 30 хв	*	Gurunathan та ін., 2009
<i>Bacillus cereus</i>	Сферичні, 11—16 нм	22-25 °C (кімнатна), 72—120 год	Антимікробна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> та <i>Staphylococcus aureus</i>	Sunkar, & Nachiyar, 2012
<i>Corynebacterium glutamicum</i>	Сферичні, 15 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Антимікробна активність щодо <i>Escherichia coli</i> MTCC40, <i>Klebsiella pneumonia</i> MTCC3384, <i>Shigella flexneri</i> MTCC1457, <i>Salmonella enterica</i> MTCC3917, <i>Staphylococcus aureus</i> MTCC3160, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> MTCC424, <i>Bacillus flexus</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	Gowramma, Keerthi, Rafi, & Rao, 2015
<i>Lactobacillus casei</i> subsp. <i>casei</i>	Сферичні поодинокі (25—50 нм) або в агрегатах (≈ 100 нм)	25 °C, 84 год	*	Korbekandi, Irvani, & Abbasi, 2012
<i>Ureibacillus thermosphaericus</i>	Сферичні, 10—100 нм	80 °C, 24 год	*	Juibari, Abbasalizadeh, Jouzani, & Noruzi, 2011
<i>Staphylococcus aureus</i>	Агломеровані наноструктури, 160—180 нм	22—25 °C (кімнатна), 72 год	Антимікробна активність щодо резистентних до метициліну <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Streptococcus pyogenes</i>	Nanda, & Saravanan, 2009

Продовження таблиці 3

PtNPs				
<i>Desulfovibrio vulgaris</i> DSM 644	**	37 °C, 1 год	Каталітична активність щодо деградації ципрофлоксацину, сульфаметоксазолу, ібупрофену та 17β-естрадіолу	Martins та ін., 2017
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> PUCM 101	Кубоподібні, 2—3 нм	30 °C, 72 год	*	Gaidhani, Yeshvekar, Shedbalkar, Bellare, & Chopade, 2014
<i>Shewanella algae</i> ATCC 51181	Сферичні, еліпсоподібні, ≈ 5 нм	25 °C, 1 год	*	Konishi та ін., 2007
<i>Streptomyces</i> sp.	Сферичні, 20—50 нм	30 °C, 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин MCF-7 (рак молочної залози)	Baskaran та ін., 2017
PdNPs				
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i> NCIMB 8307 та NCIMB 8326, <i>Bacillus benzeovorans</i> NCIMB 12555	Ікосаедри, 1—8 нм	30 °C, 12 год	*	Omajali, Mikheenko, Merroun, Wood, & Macaskie, 2015
<i>Enterococcus faecalis</i> CTCCC M2012445	Сферичні	40 °C, 48 год	*	Cui та ін., 2017
<i>Shewanella loihica</i> PV-4	Сферичні, 2—6 нм	30 °C, 48 год	Каталітична активність щодо деградації барвника метилового оранжевого	Ahmed, Kalathil, Shi, Alharbi, & Wang, 2018
<i>Shewanella oneidensis</i> MR-1	Сферичні, 1—30 нм	30 °C, 24 год	*	Yang та ін., 2020
RhNPs, RuNPs				
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> SM1	RhNPs (багатокутники, 1—3 нм), RuNPs (сферичні, 3—13 нм)	25 °C, 24 год	*	Srivastava, & Constanti, 2012

Примітка: * — автори не досліджували біологічну активність наночастинок; ** — автори не навели даних щодо форми та розміру наночастинок.

Висновки

Наночастинки благородних металів можна отримати біологічним способом з використанням грибів, дріжджів і бактерій. При цьому для біосинтезу використовують різні варіанти біологічних об'єктів: біомасу, культуральну рідину, біомасу, безклітинний екстракт та лізат, супернатант. Залежно від біологічного об'єкта, його умов культивування, а також параметрів біогенного синтезу можуть формуватися наночастинки різного розміру та форми, що впливатиме на їхні подальші біологічні властивості та можливість використання в різних галузях.

Слід наголосити, що на сьогодні є багато досліджень, що стосуються використання грибів, дріжджів і бактерій для біосинтезу таких благородних металів, як золото та срібло. При цьому дуже мало наукових публікацій щодо можливостей біосинтезу таких благородних металів, як платина, паладій, родій і рутеній з використанням вказаних мікроорганізмів. Що стосується іридію та осмію, то нам не вдалось знайти публікацій щодо можливостей використання грибів, дріжджів і бактерій для їх біосинтезу.

Література

- Abdul-Hadi, S. Y., Owaid, M. N., Rabeea, M. A., Abdul Aziz, A., Jameel, M. S. (2020). Rapid mycosynthesis and characterization of phenols-capped crystal gold nanoparticles from *Ganoderma applanatum*, *Ganodermataceae*. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 27, 101683. doi: 10.1016/j.bcab.2020.101683.
- Ahmed, E., Kalathil, S., Shi, L., Alharbi, O., Wang, P. (2018). Synthesis of ultra-small platinum, palladium and gold nanoparticles by *Shewanella loihica* PV-4 electrochemically active biofilms and their enhanced catalytic activities. *J. Saudi Chem. Soc.*, 22(8), 919—929. doi: 10.1016/j.jscs.2018.02.002.
- Alamri, S. A., Hashem, M. A., Nafady, N. A., Sayed, M. A., Alshehri, A. A., El-Alshaboury, G. A. (2018). Controllable biogenic synthesis of intracellular silver/silver chloride nanoparticles by *Meyerozyma guilliermondii* KX008616. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 28 (6): 917—930. doi: 10.4014/jmb.1802.02010.
- Babu, M. M. G., Gunasekaran, P. (2009) Production and structural characterization of crystalline silver nanoparticles from *Bacillus cereus* isolate. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 74(1), 191—195. doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.07.016.
- Barabadi, H., Honary, S., Ebrahimi, P., Mohammadi, M. A., Alizadeh, A., Naghibi, F. (2014). Microbial mediated preparation, characterization and optimization of gold nanoparticles. *Braz. J. Microbiol.*, 45(4), 1493—1501. doi: 10.1590/S1517-83822014000400046.
- Baskaran, B., Muthukumarasamy, A., Chidambaram, S., Sugumaran, A., Ramachandran, K., Rasu Manimuthu, T. (2017). Cytotoxic potentials of biologically fabricated platinum nanoparticles from *Streptomyces* sp. on MCF-7 breast cancer cells. *IET Nanobiotechnol.*, 11 (3), 241—246. doi:10.1049/iet-nbt.2016.0040.
- Binupriya, A. R., Sathishkumar, M., Yun, S. I. (2010). Myco-crystallization of silver ions to nanosized particles by live and dead cell filtrates of *Aspergillus oryzae* var *viridis* and its bacterial activity toward *Staphylococcus aureus* KCCM 12256. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, 852—858. doi: 10.1021/ie9014183.
- Birla, S. S., Gaikwad, S. C., Gade, A. K., Rai, M. K. (2013). Rapid synthesis of silver nanoparticles from *Fusarium oxysporum* by optimizing physiocultural conditions. *Sci. World J.*, 2013. doi: 10.1155/2013/796018.
- Bolbanabad, E. M., Ashengroph, M., Darvishi, F. (2020). Development and evaluation of different strategies for the clean synthesis of silver nanoparticles using *Yarrowia lipolytica* and their antibacterial activity. *Process Biochem.*, 94: 319—328. doi: 10.1016/j.procbio.2020.03.024.

- Borse, V., Kaler, A., Banerjee, U. C. (2015). Microbial synthesis of platinum nanoparticles and evaluation of their anticancer activity. *Int. J. Emerg. Trends Electr. Electron.*, 11, 26—31.
- Castro-Longoria, E., Moreno-Velasquez, S. D., Vilchis-Nestor, A. R., Berumen, E. A., Borja, M. A. (2012). Production of platinum nanoparticles and nanoaggregates using *Neurospora crassa*. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 22(7), 1000—1004. doi: 10.4014/jmb.1110.10085.
- Chen, H., Huang, D., Lin, L., Odoom-Wubah, T., Huang, J., Sun, D., Li, Q. (2014). Facile fabrication of Pd nanoparticle/*Pichia pastoris* catalysts through adsorption–reduction method: a study into effect of chemical pretreatment. *J. Colloid Interface Sci.*, 433, 204–210. doi: 10.1016/j.jcis.2014.07.038.
- Chen, H., Zhou, Z., Chen, W., Xiang, Z., Nie, H., Yu, W. (2021). Construction of stable bio-Pd catalysts for environmental pollutant remediation. *RSC Adv.*, 11(57), 36174—36180. doi: 10.1039/D1RA06465G.
- Costa Silva, L. P., Oliveira, J. P., Keijok, W. J., Silva, A. R., Aguiar, A. R., Guimaraes, M. C. C., ..., Braga F. R. (2017). Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the cell-free filtrate of nematophagus fungus *Duddingtonia flagans*. *Int. J. Nanomed.*, 12, 6373—6381. doi: 10.2147/IJN.S137703.
- Cui, J., Zhu, N., Kang, N., Ha, C., Shi, C., Wu, P. (2017). Biorecovery mechanism of palladium as nanoparticles by *Enterococcus faecalis*: from biosorption to bioreduction. *Chem. Eng. J.*, 328, 1051—1057.
- Cunha, F. A., da Cunha, M. C. S. O., da Frota, S. M., Mallmann, E. J., Freire, T. M., Costa, L. S., ..., Fachine, P. B. (2018). Biogenic synthesis of multifunctional silver nanoparticles from *Rhodotorula glutinis* and *Rhodotorula mucilaginosa*: antifungal, catalytic and cytotoxicity activities. *World. J. Microbiol. Biotechnol.*, 34, 127. doi: 10.1007/s11274-018-2514-8.
- Du, L., Xian, L., Feng, J. X. (2011). Rapid extra-/intracellular biosynthesis of gold nanoparticles by the fungus *Penicillium* sp. *J. Nanopart. Res.*, 13, 921—930. doi: 10.1007/s11051-010-0165-2.
- Du, L., Xu, Q., Huang, M., Xian, L., Feng, J.-X. (2015). Synthesis of small silver nanoparticles under light radiation by fungus *Penicillium oxalicum* and its application for the catalytic reduction of methylene blue. *Mater. Chem. Phys.*, 160, 40—47. doi: 10.1016/j.matchemphys.2015.04.003.
- Eramabadi, P., Masoudi, M., Makhdoumi, A., and Mashreghi, M. (2020). Microbial cell lysate supernatant (CLS) alteration impact on platinum nanoparticles fabrication, characterization, antioxidant and antibacterial activity. *Mater. Sci. Eng. C.*, 117, 111292. doi: 10.1016/j.msec.2020.111292.
- Gaidhani, S. V., Yeshvekar, R. K., Shedbalkar, U. U., Bellare, J. H., Chopade, B. A. (2014). Bio-reduction of hexachloroplatinic acid to platinum nanoparticles employing *Acinetobacter calcoaceticus*. *Process Biochemistry*, 49(12), 2313—2319. doi: 10.1016/j.procbio.2014.10.002.
- Gayda, G. Z., Demkiv, O. M., Stasyuk, N. Y., Serkiz, R. Y., Lootsik, M. D., Errachid, A., ..., Nisnevitch, M. (2019). Metallic nanoparticles obtained via “green” synthesis as a platform for biosensor construction. *Appl. Sci.*, 9, 720. doi: 10.3390/app9040720.
- Gil Y.-G., Kang S., Chae A., Kim Y.-K., Min D.-H., Jang H. (2018). Synthesis of porous Pd nanoparticles by therapeutic chaga extract for highly efficient tri-modal cancer treatment. *Nanoscale*, 10, 19810—19817. doi: 10.1039/c8nr07172a.
- Gowramma, B., Keerthi, U., Rafi, M., Rao, D. M. (2015). Biogenic silver nanoparticles production and characterization from native stain of *Corynebacterium species* and its antimicrobial activity. *3 Biotech*, 5, 195—201. doi: 10.1007/s13205-014-0210-4.
- Gupta, S., Bector, S. (2013). Biosynthesis of extracellular and intracellular gold nanoparticles by *Aspergillus fumigatus* and *A. flavus*. *Antonie van Leeuwenhoek*, 103, 1113—1123. doi: 10.1007/s10482-013-9892-6.
- Gurunathan, S., Kalishwaralal, K., Vaidyanathan, R., Venkataraman, D., Pandian, S. R. K., Muniyandi, J., ... Eom, S. H. (2009). Biosynthesis, purification and characterization of silver nanoparticles using *Escherichia coli*. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 74(1), 328—335. doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.07.048.
- Jain, N., Bhargava, A., Majumdar, S., Tarafdar, J. C., Panwar, J. (2011). Extracellular biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using *Aspergillus flavus* NJP08: a mechanism perspective. *Nanoscale*, 3, 635—641. doi: 10.1039/C0NR00656D.

- Jalal, M., Ansari, M. A., Alzohairy, M. A., Ali, S. G., Khan, H. M., Almatroudi, A., Raees, K. (2018). Biosynthesis of silver nanoparticles from oropharyngeal *Candida glabrata* isolates and their antimicrobial activity against clinical strains of bacteria and fungi. *Nanomaterials*, 8(8), 586. doi: 10.3390/nano8080586.
- Ji, Y., Cao, Y., Song, Y. (2019). Green synthesis of gold nanoparticles using a *Cordyceps militaris* extract and their antiproliferative effect in liver cancer cells (HepG2). *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 47(1), 2737—2745. doi: 10.1080/21691401.2019.1629952.
- Joudeh, N., Saragliadis, A., Koster, G., Mikheenko, P., Linke, D. (2022). Synthesis methods and applications of palladium nanoparticles: a review. *Front. Nanotechnol.*, 4, 92. doi: 10.3389/fnano.2022.1062608.
- Juibari, M. M., Abbasalizadeh, S., Jouzani, G. S., Noruzi, M. (2011). Intensified biosynthesis of silver nanoparticles using a native extremophilic *Ureibacillus thermosphaericus* strain. *Materials Letters*, 65(6), 1014—1017. doi: 10.1016/j.matlet.2010.12.056.
- Konishi, Y., Ohno, K., Saitoh, N., Nomura, T., Nagamine, S., Hishida, H., ..., Uruga, T. (2007). Bio-reductive deposition of platinum nanoparticles on the bacterium *Shewanella algae*. *J. Biotechnol.*, 128, 648—653. doi: 10.1016/j.jbiotec.2006.11.014.
- Korbekandi, H., Irvani, S., Abbasi, S. (2012). Optimization of biological synthesis of silver nanoparticles using *Lactobacillus casei* subsp. *casei*. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 87(7), 932—937. doi: 10.1002/jctb.3702.
- Koul, B., Poonia, A. K., Yadav, D., Jin, J.-O. (2021). Microbe-mediated biosynthesis of nanoparticles: applications and future prospects. *Biomolecules*, 11, 886. doi: 10.3390/biom11060886.
- Krishnan, S., Jayakumar, D., Madhyastha, H., Chadha, A. (2021). The complexity of microbial metal nanoparticle synthesis: a study of *Candida parapsilosis* ATCC 7330 mediated gold nanoparticles formation. *BioNanoScience*, 11, 336—344. doi: 10.1007/s12668-021-00825-6.
- Krishnan, S., Narayan, S., Chadha, A. (2016). Whole resting cells vs. cell free extracts of *Candida parapsilosis* ATCC 7330 for the synthesis of gold nanoparticles. *AMB Express*, 6:92. doi: 10.1186/s13568-016-0268-y.
- Kumar, D., Karthik, L., Kumar, G., Roa, K.B. (2011). Biosynthesis of silver nanoparticles from marine yeast and their antimicrobial activity against multidrug resistant pathogens. *Pharmacology-online*, 3: 1100—1111.
- Liu, X., Chen, J.-L., Yang, W.-Y., Qian, Y.-C., Pan, J.-Y., Zhu, C.-N., ..., Zhang, D.-P. (2021). Biosynthesis of silver nanoparticles with antimicrobial and anticancer properties using two novel yeasts. *Sci. Rep.*, 11: 15795. doi: 10.1038/s41598-021-95262-6.
- Martins, M., Mourato, C., Sanches, S., Noronha, J. P., Crespo, M. T. B., Pereira, I. A. C. (2017). Biogenic platinum and palladium nanoparticles as new catalysts for the removal of pharmaceutical compounds. *Water Res.*, 108, 160—168. doi: 10.1016/j.watres.2016.10.071.
- Mewada, A., Oza, G., Pandey, S., Sharon, M. (2012). Extracellular synthesis of gold nanoparticles using *Pseudomonas denitrificans* and comprehending its stability. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 2(4), 493—499.
- Mishra, A., Tripathy, S. K., Yuna, S. I. (2012). Fungus mediated synthesis of gold nanoparticles and their conjugation with genomic DNA isolated from *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Process. Biochem.*, 47(5), 701—711. doi: 10.1016/j.procbio.2012.01.017.
- Mishra, R. C., Kalra, R., Dilawari, R., Goel, M., Barrow, C. J. (2022). Bio-synthesis of *Aspergillus terreus* mediated gold nanoparticle: antimicrobial, antioxidant, antifungal and in vitro cytotoxicity studies. *Materials*, 15(11), 3877. doi: 10.3390/ma15113877.
- Mohana, S., Sumathi, S. (2020). Multi-functional biological effects of palladium nanoparticles synthesized using *Aqaricus bisporus*. *J. Clust. Sci.*, 31, 391—400. doi: 10.1007/s10876-019-01652-2.
- Nanda, A., Saravanan, M. (2009). Biosynthesis of silver nanoparticles from *Staphylococcus aureus* and its antimicrobial activity against MRSA and MRSE. *Nanomed.: Nanotechnol. Biol. Med.*, 5(4), 452—456. doi: 10.1016/j.nano.2009.01.012.

- Nithya, R., Ragunathan, R. (2009). Synthesis of silver nanoparticle using *Pleurotus sajor caju* and its antimicrobial study. *Digest J. Nanomater. Biostruct.*, 4(4), 623—629.
- Omajali, J. B., Mikheenko, I. P., Merroun, M. L., Wood, J., Macaskie, L. E. (2015). Characterization of intracellular palladium nanoparticles synthesized by *Desulfovibrio desulfuricans* and *Bacillus benzeovorans*. *J. Nanopart. Res.*, 17(6), 264. doi: 10.1007/s11051-015-3067-5.
- Prema, P., Iniya, P. A., Immanuel, G. (2016). Microbial mediated synthesis, characterization, antibacterial and synergistic effect of gold nanoparticles using *Klebsiella pneumoniae* (MTCC-4030). *RSC Advances*, 6(6), 4601—4607. doi: 10.1039/c5ra23982f.
- Qu, Y., You, S., Zhang, X., Pei, X., Shen, W., Li, Z., Li, S. (2018). Biosynthesis of gold nanoparticles using cell-free extracts of *Magnusiomyces ingens* LH-F1 for nitrophenols reduction. *Bioprocess Biosyst. Eng.*, 41: 359—367. doi: 10.1007/s00449-017-1869-9.
- Rahi, D. K., Manhas, L., Kaur, M., Malik, D., Rahi, S. (2018). Extracellular synthesis of silver nanoparticles by an indigenous yeast *Aureobasidium pullulans* RYLF 10: characterization and evaluation of antibacterial potential. *Int. J. Pharm. Biol. Sci.*, 8(3), 312—321.
- Ronavari, A., Igaz, N., Gopisetty, M.K. (2018). Biosynthesized silver and gold nanoparticles are potent antimycotics against opportunistic pathogenic yeasts and dermatophytes. *Int. J. Nanomedicine*, 13: 695—703. doi: 10.2147/IJN.S152010.
- Sarkar, J., Acharya, K. (2017). *Alternaria alternata* culture filtrate mediated bioreduction of chloroplatinate to platinum nanoparticles. *Inorg. Nano Metal. Chem.*, 47(3), 365—369. doi: 10.1080/15533174.2016.1186062.
- Shabbir, M., Mohammad, F. (2018). Multifunctional AgNPs@Wool: colored, UV-protective and antioxidant functional textiles. *Appl. Nanosci.*, 8: 545—555. doi: 10.1007/s13204-018-0668-1.
- Sharma, S., Sharma, N., Kaushal, N. (2022). Comparative account of biogenic synthesis of silver nanoparticles using probiotics and their antimicrobial activity against challenging pathogens. *BioNanoSci.*, 12, 833—840. doi: 10.1007/s12668-022-01004-x.
- Shu, M., He, F., Li, Z., Zhu, X., Ma, Y., Zhou, Z., ..., Zeng M. (2020). Biosynthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles using yeast extract as reducing and capping agents. *Nanoscale Res. Lett.*, 15, 14. doi: 10.1186/s11671-019-3244-z.
- Shunmugam, R., Renukadevi Balusamy, S., Kumar, V., Menon, S., Lakshmi, T., Perumalsamy, H. (2021). Biosynthesis of gold nanoparticles using marine microbe (*Vibrio alginolyticus*) and its anticancer and antioxidant analysis. *J. King Saud Univ. — Sci.*, 33, 101260. doi: 10.1016/j.jksus.2020.101260.
- Skrotska, O., Kharchenko, Y., Laziuka, Y., Marynin, A., Kharchuk, M. (2021). Biosynthesis and characteristics of silver nanoparticles obtained using *Saccharomyces cerevisiae* M437. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 615—631. doi: 10.24263/2304-974X-2021-10-3-14.
- Soliman, H., Elsayed, A., Dyaa, A. (2018). Antimicrobial activity of silver nanoparticles biosynthesized by *Rhodotorula* sp. strain ATL72. *Egypt. J. Basic. Appl. Sci.*, 5(3), 228—233. doi: 10.1016/j.ejbas.2018.05.005.
- Soltani, N. M., Shahidi, B. G. H., Khaleghi, N. (2015). Biosynthesis of gold nanoparticles using *Streptomyces fulvissimus* isolate. *Nanomed. J.*, 2(2), 153—159.
- Srinath, B. S., Ravishankar, R. V. (2015). Rapid biosynthesis of gold nanoparticles by staphylococcus epidermidis: its characterization and catalytic activity. *Mater. Lett.*, 146, 23—25. doi: 10.1016/j.matlet.2015.01.151.
- Sriramulu, M., Sumathi, S. (2018). Biosynthesis of palladium nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae* extract and its photocatalytic degradation behaviour. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.*, 9(2), 025018. doi: 10.1088/2043-6254/aac506.
- Srivastava, S. K., Constanti, M. (2012). Room temperature biogenic synthesis of multiple nanoparticles (Ag, Pd, Fe, Rh, Ni, Ru, Pt, Co, and Li) by *Pseudomonas aeruginosa* SM1. *J. Nanopart. Res.*, 14, 831. doi: 10.1007/s11051-012-0831-7.
- Srivastava, S. K., Yamada, R., Ogino, C., Kondo, A. (2013). Biogenic synthesis and characterization of gold nanoparticles by *Escherichia coli* K12 and its heterogeneous catalysis in degradation of 4-nitrophenol. *Nanoscale Res. Lett.*, 8(1), 70. doi: 10.1186/1556-276x-8-70.

Subramaniyan, S. A., Sheet, S., Vinothkannan, M., Yoo, D. J., Lee, Y. S., Belal, S. A., Shim, K. S. (2018). One-pot facile synthesis of Pt nanoparticles using cultural filtrate of microgravity simulated grown *P. chrysogenum* and their activity on bacteria and cancer cells. *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 18, 3110—3125. doi: 10.1166/jnn.2018.14661.

Sunkar, S., Nachiyar, V. C. (2012). Microbial synthesis and characterization of silver nanoparticles using the endophytic bacterium *Bacillus cereus*: a novel source in the benign synthesis. *Glob J of Med Res.*, 12, 2249—4618.

Syed, A., Ahmad, A. (2012). Extracellular biosynthesis of platinum nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*. *Colloids Surf. B Biointerfaces.*, 97, 27—31. doi: 10.1016/j.colsurfb. 2012. 03.026.

Syed, B., Prasad, N. M., Satish, S. (2016). Endogenic mediated synthesis of gold nanoparticles bearing bactericidal activity. *J. Microsc. Ultrastruct.*, 4, 162—166. doi: 10.1016/j.jmau.2016.01.004.

Tahar, I. B., Fickers, P., Dziedzic, A., Ploch, D., Skora, B., Kus-Liskiewicz, M. (2019). Green pyomelanin-mediated synthesis of gold nanoparticles: modelling and design, physico-chemical and biological characteristics. *Microb. Cell. Fact.*, 18, 210. doi: 10.1186/s12934-019-1254-2.

Tarver, S., Gray, D., Loponov, K., Das, D. B., Sun, T., Sotenko, M. (2019). Biomineralization of Pd nanoparticles using *Phanerochaete chrysosporium* as a sustainable approach to turn platinum group metals (PGMs) wastes into catalysts. *Int. Biodeterior. Biodegr.*, 143:104724. doi: 10.1016/j.ibiod.2019.104724.

Vala, A. K. (2015). Exploration on green synthesis of gold nanoparticles by a marine-derived fungus *Aspergillus sydowii*. *Environ. Prog. Sustain. Energy.*, 34(1), 194—197. doi: 10.1002/ep.11949.

Yang, Z., Li, Z., Lu, X., He, F., Zhu, X., Ma, ..., Gao, F. (2017). Controllable biosynthesis and properties of gold nanoplates using yeast extract. *Nanomicro Lett.*, 9(5). doi: 10.1007/s40820-016-0102-8.

Yang, Z.-N., Hou, Y.-N., Zhang, B., Cheng, H.-Y., Yong, Y.-C., Liu, W.-Z., ..., Wang, A.-J. (2020). Insights into palladium nanoparticles produced by *Shewanella oneidensis* MR-1: roles of NADH dehydrogenases and hydrogenases. *Environ. Res.*, 191:110196. doi: 10.1016/j.envres. 2020.110196.

Zhang, X., Qu, Y., Shen, W., Wang, J., Li, H., Zhang, Z., Li, S., Zhou, J. (2016). Biogenic synthesis of gold nanoparticles by yeast *Magnusiomyces ingens* LH-F1 for catalytic reduction of nitrophenols. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 497, 280—285. doi: 10.1016/j.colsurfa. 2016. 02.033.

IN VITRO GELATINIZATION OF POTATO STARCH WITH EXCESSIVE WATER CONTENT. PART 2. THE EFFECT OF SOLUTION ACIDITY ON THE PROCESS OF AMYLOSE EXTRACTION FROM STARCH GRANULES

I. Sknar, V. Myrhorodska-Terentieva, O. Prylovskiy, Ye. Osokin, M. Nikolenko
Ukrainian State University of Chemical Technology

Key words:

*Kinetics of gelatinization
Catalyst
Hydrogen bond
Activation energy*

Article history:

Received 17.04.2023
Received in revised form
08.05.2023
Accepted 22.05.2023

Corresponding author:

I. Sknar
E-mail:
irinasknar202@gmail.com

Citation: Скнар І. В., Миргородська-Терентьєва В. Д., Приловський О. В., Осокін Є. С., Ніколенко М. В. (2023). Клейстеризація картопляного крохмалю способом *in vitro* за надмірного вмісту води. Частина 2. Вплив кислотності розчину на процес вилучення амілози з крохмальних гранул. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 73—83.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-7

ABSTRACT

The process of gelatinization, which accompanies all technological processes of food production involving starch-containing raw materials, is extremely common. Creation of food products with desired textural and nutritional characteristics requires controlled processing of starches and creation optimal conditions for their gelatinization. Acceleration of this process is possible due to thermal or catalytic influence. The purpose of this work was to determine the regularities of the solutions acidity influence on the efficiency of the starch gelatinization process under the conditions of a relatively large excess of water. Experimental studies were performed in isothermal conditions at temperatures of 62, 66, and 70 °C in the pH range of potato starch suspension from 3 to 5. Based on the mathematical treatment of the experimental dependences of the degree of amylose extraction on the processing time using the Kruger-Zigler and Arrhenius equations, the dependence of the activation energy of this process on the pH of the suspension was obtained. It was determined that the activation energy decreased from 191.3 kJ/mol to 22.2 kJ/mol when the pH of the suspension decreased from 6.8 to 3.0. This effect is associated with the weakening of the hydrogen bond responsible for the intermolecular interaction of amylose macromolecules. It is proposed to consider hydrogen ions as a conditional catalyst of the gelatinization process and to use acidification of starch suspension in the pH range of 3-3.5 as a method of technological solution of the problem of speeding up the process.

КЛЕЙСТЕРИЗАЦІЯ КАРТОПЛЯНОГО КРОХМАЛЮ СПОСОБОМ *IN VITRO* ЗА НАДМІРНОГО ВМІСТУ ВОДИ. ЧАСТИНА 2. ВПЛИВ КИСЛОТНОСТІ РОЗЧИНУ НА ПРОЦЕС ВИЛУЧЕННЯ АМІЛОЗИ З КРОХМАЛЬНИХ ГРАНУЛ

І. В. Сکنяр, В. Д. Миргородська-Терентьєва, О. В. Приловський,
Є. С. Осокін, М. В. Ніколенко

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Процес клейстеризації, що супроводжує всі технологічні процеси харчового виробництва із залученням крохмалевмісної сировини, є надзвичайно поширеним. Створення харчових продуктів з бажаними текстурними та поживними характеристиками потребує керованої переробки крохмалів і створення оптимальних умов їх клейстеризації. Пришвидшення цього процесу можливе за рахунок термічного чи каталітичного впливу.

У статті встановлено закономірності впливу кислотності розчинів на ефективність процесу клейстеризації крохмалю за умови відносно великого надлишку води. Експериментальні дослідження було проведено в ізотермічних умовах за температур 62, 66 і 70 °C в діапазоні рН суспензії картопляного крохмалю від 3 до 5. На підставі математичної обробки експериментальних залежностей ступеня вилучення амілози від часу обробки за допомогою рівнянь Крюгера-Циглера та Ареніуса отримано залежність енергії активації цього процесу від рН суспензії. Встановлено, що енергія активації зменшується від 191,3 кДж/моль до 22,2 кДж/моль при зменшенні рН суспензії від 6,8 до 3,0. Такий ефект пов'язаний з ослабленням водневого зв'язку, відповідального за міжмолекулярну взаємодію макромолекул амілози. Запропоновано розглядати іони гідрогену як умовний каталізатор процесу клейстеризації і підкислення крохмальної суспензії в діапазоні рН 3—3,5 використовувати як спосіб технологічного рішення проблеми прискорення процесу.

Ключові слова: *кінетика клейстеризації, каталізатор, водневий зв'язок, енергія активації.*

Постановка проблеми. Дослідження процесу клейстеризації, що відбувається при обробці крохмалевмісної сировини, має важливе значення у зв'язку із завданнями створення харчових продуктів з бажаними текстурними та поживними характеристиками (Apriyanto, Compart, & Fettke, 2022; Kaur, Kaur, & Kennedy, 2022). Розрізняють два способи клейстеризації: *in vitro* — клейстеризація з використанням чистого крохмалю, та *in situ* — з використанням цільного зерна. Дослідження клейстеризації обома способами мають не тільки теоретичний інтерес, а й важливі для практичного застосування. Залежно від вмісту води під час обробки крохмалю автори (Donmez, Pinho, & Campanella, 2021) запропонували використовувати два терміни: клейстеризація (вміст води понад 60% за масою) та плавлення (вміст води менше 60%). Відмітною ознакою для цих процесів є те, що

температура клейстеризації не залежить від вмісту води, а температура плавлення, навпаки, суттєво залежить від вмісту води: що менше води, то вище температура плавлення.

Загальноприйняті уявлення про клейстеризацію *in vitro* за надмірного вмісту води передбачають перебіг таких процесів, як насичення крохмальних гранул водою, збільшення їх об'єму (процес набухання) до розриву зовнішньої оболонки (мембрани) внаслідок підвищення осмотичного тиску, вилучення амілози з гранул у водний розчин, утворення золю та його перехід у гель (Donmez, Pinho, & Campanella, 2021; Majzoobi & Farahnaky, 2021; Chavan та ін., 2021; Amagliani, O'Regan, & O'Mahony, 2016; Li, 2022; Renzetti, Hoek, & Sman, 2021).

Зі зростанням температури рухливість молекул амілози збільшується і вона починає вимиватися з гранул. Амілопектин (розгалужений полімер з молекулярною масою близько мільйона) поводить інакше. Його кристали плавляться в процесі нагрівання, але залишаються в ядрі залишків гранул. Доведено, що у повністю клейстеризованій дисперсії крохмалю амілоза відіграє головну роль у процесі гелеутворення (Miles, Morris, & Ring, 1985). Формування сітки з макромолекул амілози починається майже одночасно з початком клейстеризації крохмалю (Putseys, Gommès, & Goderis, 2011).

Досліджуючи кінетику процесів клейстеризації крохмалів, автори зазначають, що енергія активації (E_a) процесу клейстеризації залежить від температури. Наприклад, за даними (Spigno, & De Faveri, 2004) для температур менше 79 °C енергія активації клейстеризації крохмалю рису становить 144 кДж/моль, а при температурах вище 79 °C знижується до 14 кДж/моль. Дослідники довели, що при температурах менше 79,5 °C енергія активації варіюється в інтервалі 144...230 кДж/моль, а при температурах понад 79,5 °C становить 14...30 кДж/моль.

Проведені дослідження кінетики клейстеризації картопляного крохмалю способом *in vitro* показали, що залежності ступеня вилучення амілози від часу найкраще лінеаризуються в координатах рівняння Крюгера-Циглера (Скнар, Миргородська-Терентьєва, & Ніколенко, 2023). Встановлено, що уявна енергія активації процесу клейстеризації в інтервалі температур 60...70 °C становить 191 кДж/моль, а в інтервалі температур 80...90 °C зменшується до 22 кДж/моль. Високе значення енергії активації процесу клейстеризації в області низьких температур є неочікуваним. Якщо отримане за високих температур значення енергії активації на рівні 22 кДж/моль можна пояснити дифузійними ускладненнями, то значення відповідної величини близькі до 200 кДж/моль притаманні процесам з хімічною взаємодією. Авторами цієї статті запропоновано розглядати як таку хімічну взаємодію уявлення про ослаблення числених водневих зв'язків між макромолекулами амілози. З огляду на те, що для розриву одного водневого зв'язку потрібна енергія порядку 21 кДж/моль, то для десятка таких зв'язків між ОН-групами макромолекул амілози енергія розриву може становити порядку 210 кДж/моль. Оскільки водневі зв'язки відповідають за кристалізацію амілози й амілопектину, можна очікувати, що вони мають вирішальну роль і в руйнуванні крохмальних гранул під час клейстеризації.

Розраховані значення енергій активації показують, що процес клейстеризації за температур 60...70 °C відбувається в кінетичному режимі. Очевидно, що його

інтенсифікація можлива в результаті збільшення константи швидкості процесу ослаблення міжмолекулярних водневих зв'язків за рахунок підвищення температури та/або використання каталізатора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Збільшення швидкості екстракції амілози може бути досягнуте при застосуванні ультразвукової обробки. В (Li, Wu, & Yang, 2019) показано, що зі збільшенням інтенсивності та частоти ультразвуку швидкість екстракції амілози збільшувалась. У (Setyawati та ін., 2016) було систематично досліджено вплив обробки ультразвуком і часу обробки на вміст амілози в обробленому крохмалі. Встановлено, що при використанні ультразвуку в лужному середовищі екстракція амілози може бути реалізована при більш низькій температурі за більш короткий час, порівняно з існуючим методом водного вилучення амілози.

У (Palav, & Seetharaman, 2006) показано, що збільшення температури розчину крохмалю шляхом мікрохвильового нагрівання призводить до прискорення екстракції амілози. Причому при збільшенні швидкості нагрівання зміна швидкості екстракції уповільнюється.

Як каталізатор у літературі часто згадуються кислоти, які мають промислове застосування у процесах гідролізу крохмалів з метою їх деструкції до глюкози та низки низькомолекулярних цукрів на її основі. Також кислоти використовують у виробництві декстринів — модифікованих крохмалів із зменшеним ступенем полімеризації амілози й амілопектину. Для прискорення процесів їхньої термічної деструкції застосовують попереднє насичення крохмалю неорганічними кислотами, що інтенсифікують процеси гідролізу. Як правило, вказується, що під час кислотного гідролізу крохмалю спочатку має місце послаблення і розрив асоціативних зв'язків між макромолекулами амілози й амілопектину. Далі відбувається розрив α -D-(1,4)- і α -D-(1,6)-зв'язків крохмалю за участі молекул води, що призводить до накопичення в розчині суміші олігосахаридів, моно-, ди- і трисахаридів. Незважаючи на промислове використання кислотного гідролізу крохмалю, в літературі не представлені дослідження щодо механізму та кінетичних закономірностей впливу кислот на процес клейстеризації крохмалю, зокрема на стадію вилучення амілози з крохмальних гранул у розчин. Можна припустити, що послаблення і розрив асоціативних зв'язків між макромолекулами крохмалю буде сприяти процесу вилучення амілози з крохмальних гранул, але спрогнозувати за яких значень рН та в якій мірі прискориться цей процес не можливо.

Важливо також оцінити вплив кислоти як каталізатора на енергію активації процесу вилучення амілози з крохмальних гранул. Результати таких досліджень мають теоретичне і практичне значення, оскільки дадуть змогу встановити стадії процесу, що лімітують його швидкість, та розробити пропозиції щодо його інтенсифікації.

Мета дослідження: встановити закономірності впливу кислотності розчинів на ефективність процесу клейстеризації крохмалю в ізотермічних умовах за умов відносно великого надлишку води.

Матеріали і методи. Використано картопляний крохмаль (ДСТУ 4286:2004) з вологовмістом 16,8% і зольністю 0,30%. Нейтралізація 100 г сухого крохмалю відбувається за витрати $8,5 \text{ см}^3$ 0,10 М розчину натрію гідроксиду.

Дослідження кінетики клейстеризації проводили у круглодонній колбі з лопатевою мішалкою. Об'єм розчину складав 400,0 см³. Використовували такі буферні розчини: рН 5,0 — суміш 0,05 М розчину калію гідрофталата з натрієм гідроксидом; рН 4,0 — 0,05 М розчин калію гідрофталата; рН 3,6 — насичений розчин калію гідротартрата; рН 3,0 — суміш 0,05 М розчину калію гідрофталату з хлоридною кислотою. Нагрівання колби та підтримку сталості температури здійснювали за допомогою термостата. Крохмаль додавали до розчинів буферів при перемішуванні. Маса наважки крохмалю складала 4,00 г. Із заданим інтервалом відбирали аліквоти розчину суспензії в центрифужні пробірки. Для зупинки процесу клейстеризації пробірки швидко охолоджували. Після цього розчини центрифугували протягом 10 хв при 3000 об/хв. Після центрифугування відбирали аліквоти прозорих розчинів об'ємом 1,00 мл та переносили їх у мірні колби на 100,0 мл. Додавали 0,25 мл 0,05 н. розчину йоду і доводили до мітки дистильованою водою. Через 30 хв здійснювали вимірювання світлопоглинання розчинів на спектрофотометрі за довжиною хвилі 610 нм.

Максимальне насичення розчину амілози визначали за описаною вище методикою після шестигодинної витримки крохмальної суспензії за заданої температури. При розрахунку ступеня клейстеризації знаходили відношення поточних величин світлопоглинання розчинів з йодом до його максимального значення. Для врахування похибки вимірювання проводили по три паралельних експерименти в однакових умовах. Константи швидкості процесу вилучення амілози розраховували за формулою Крюгера-Циглера:

$$k \ln t = (1 - (1 - X)^{1/3})^2, \quad (1)$$

де X — ступінь вилучення амілози; k — спостережувана константа швидкості процесу; t — час ізотермічної витримки.

Значення констант швидкості вилучення амілози з картопляного крохмалю були отримано графічним способом, як тангенс куту нахилу прямих у координатах $(1 - (1 - X)^{1/3})^2$ — $\ln t$.

Для розрахунку енергій активації використовували рівняння Ареніуса:

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (2)$$

де k — константа швидкості процесу; A — передекспоненційний множник; E_a — енергія активації; R — універсальна газова стала; T — температура.

Викладення основних результатів дослідження. Дослідження кінетики вилучення амілози з картопляного крохмалю проводили в буферних розчинах з рН 3...5 при температурах 62, 66 і 70 °С. Отримані дані показано на рис. 1—4. Як видно з рис. 1, вилучення амілози в буферному розчині з рН = 5,0 найбільш інтенсивно відбувається у проміжок часу до 10 хвилин. Подальша витримка суспензії при заданих температурах призводить до значно повільнішого зростання ступеня вилучення амілози в часі з асимптотичним виходом на граничні значення. При збільшенні температури процесу відбувається закономірне збільшення ступеня вилучення амілози.

Аналіз рис. 2 дає підстави стверджувати, що зменшення значень рН суспензії крохмалю призводить до прискорення процесу екстракції амілози. На це вказують

більші значення ступеня вилучення порівняно з експериментальними даними, отриманими при рН 5,0. Зростання ступеня вилучення при кожній температурі становить понад 10%. Такий ефект спостерігається на фоні незмінності загальної форми залежностей ступеня вилучення амілози від часу витримки суспензії крохмалю. Як і в більш лужному середовищі, при рН 4,0 збільшення температури позитивно впливає на ступінь вилучення амілози.

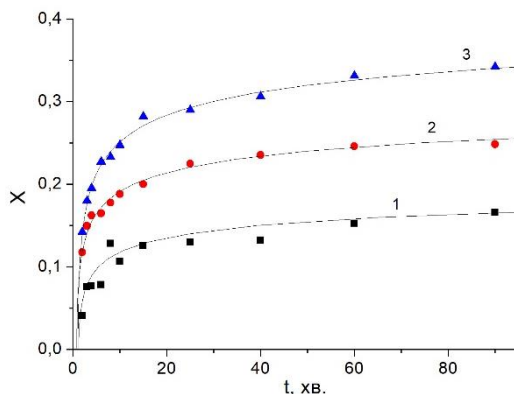


Рис. 1. Залежність ступеня вилучення амілози в буферному розчині з рН = 5,0 від часу ізомеричної витримки при температурах: 1 — 62; 2 — 66; 3 — 70 °С

Примітка: тут і на рис. 2—4 кінетичні криві побудовані на основі рівняння Крюгера-Циглера.

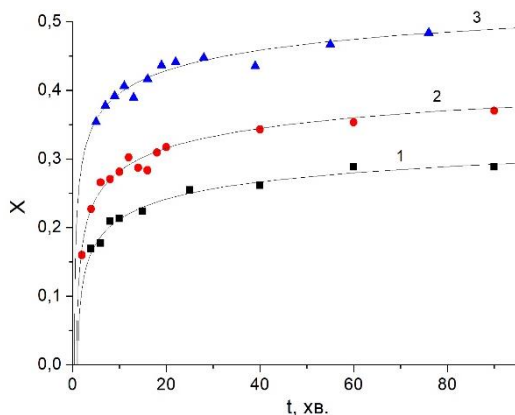


Рис. 2. Залежність ступеня вилучення амілози в буферному розчині з рН = 4,0 від часу ізомеричної витримки при температурах: 1 — 62; 2 — 66; 3 — 70 °С

При подальшому підкисленні суспензії можна спостерігати новий ефект, який проявляється у меншій залежності ступеня вилучення амілози від температури реалізації процесу. Як видно з рис. 3, криві $X-t$ зближуються між собою. Можна зробити висновок, що каталітичний ефект іонів гідрогену превалює над температурною залежністю процесу.

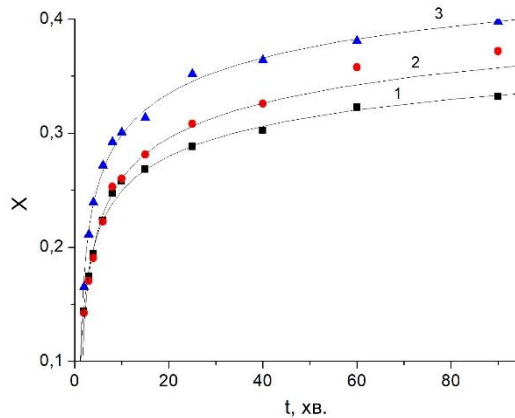


Рис. 3. Залежність ступеня вилучення амілози в буферному розчині з $\text{pH} = 3,6$ від часу ізомерічної витримки при температурах: 1 — 62; 2 — 66; 3 — 70 °C

Максимальні значення ступеня вилучення амілози, що в обраних експериментальних умовах досягають значення 55%, спостерігаються на кінетичних кривих, які отримано при $\text{pH} 3$ (рис. 4).

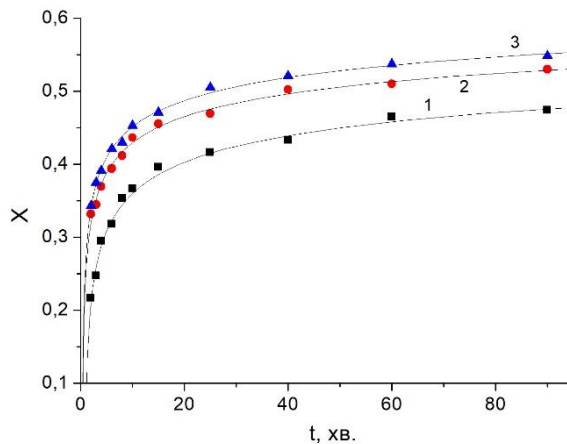


Рис. 4. Залежність ступеня вилучення амілози в буферному розчині з $\text{pH} = 3,0$ від часу ізомерічної витримки при температурах: 1 — 62; 2 — 66; 3 — 70 °C

Для визначення констант швидкості процесу вилучення амілози з крохмалю ми скористались рівнянням Крюгера-Циглера. Раніше встановлено, що це рівняння найкращим чином описує експериментальні дані з кінетики клейстеризації картопляного крохмалю за надмірного вмісту води в нейтральному середовищі (Скнар, Миргородська-Терентьєва, & Ніколенко, 2023). Аналогічна обробка даних у слабокислих розчинах показала, що рівняння Крюгера-Циглера є найбільш релевантним і для опису залежностей ступеня вилучення амілози від часу витримки крохмалю у слабокислих середовищах.

Результати розрахунків констант швидкості процесу вилучення амілози за даними рис. 1—4 наведено в таблиці. На основі залежності констант швидкості від

температури проведення процесу проведені розрахунки величин енергії активації цього процесу для різних значень рН реакційного середовища. Їхні значення також представлені в таблиці.

Таблиця. Константи швидкості рівняння Крюгера-Циглера за різних рН і температур та енергія активації процесу вилучення амілози з картопляного крохмалю в інтервалі 62—70 °С

рН	$t, ^\circ\text{C}$	$-\ln k$	$E_a, \text{кДж/моль}$
3,0	62	4,783	22,2
	66	4,694	
	69	4,597	
3,6	62	5,655	51,1
	66	5,424	
	70	5,227	
4,0	62	5,960	138,0
	66	5,393	
	70	4,943	
5,0	62	7,131	185,2
	66	6,293	
	70	5,581	

Як видно з отриманих даних, зменшення рН суспензії крохмаль–розчин призводить до зменшення енергій активації процесу вилучення амілози з крохмальних гранул у розчин. Цій закономірності добре відповідають дані про енергію активації вилучення амілози при проведенні процесу клейстеризації в дистильованій воді: при рН 6,8 енергія активації становить 191,3 кДж/моль (Скнар, Миргородська-Терентьева, & Ніколенко, 2023).

Графік залежності енергії активації від рН показано на рис. 5. Крива має S-подібну форму з різким зменшенням енергії активації в інтервалі рН від 4,5 до 3,5 та ділянкою зменшення швидкості її зміни в інтервалі рН 3—3,5.

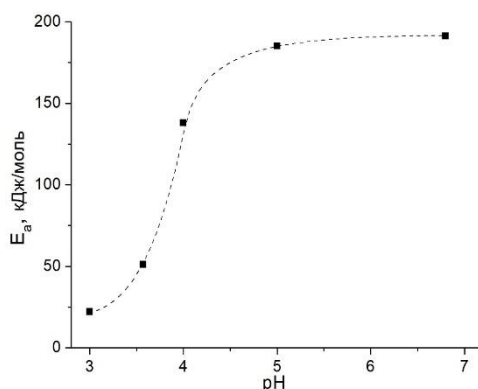
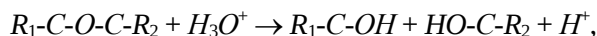


Рис. 5. Залежність енергії активації процесу вилучення амілози з картопляного крохмалю від рН розчинів при реалізації процесу клейстеризації в кінетичному режимі

Встановлена закономірність свідчить про вплив іонів гідрогену на силу міжмолекулярних зв'язків амілози: чим вища їх концентрація, тим менша сила міжмолекулярної взаємодії, тобто менша міцність міжмолекулярних водневих зв'язків. Наприклад, за даними (Van der Sman, & Mauer, 2019) сила міжмолекулярних зв'язків амілози добре корелює з величиною об'ємної щільності водневих зв'язків, що доступні до утворення. Очевидно, що з ростом концентрації іонів гідрогену зростає частка протонізованих атомів кисню в гідроксильних групах амілози й амілопектину і зменшується міцність їх водневих зв'язків. З цієї точки зору можна припустити, що при насиченні крохмалю протонами подальше підкислення розчину вже не буде так суттєво впливати на міцність міжмолекулярних зв'язків полімерів. Цей висновок добре пояснює той факт, що на кривій $E_a(\text{pH})$ ми спостерігаємо другий перегин і зменшення швидкості зміни E_a в інтервалі pH 3—3,5.

Слід відмітити, що зниження величини E_a процесу вилучення амілози при зменшенні pH розчину можна пояснити не тільки зміною міцності міжмолекулярних водневих зв'язків, але й можливістю поступового гідролізу амілози та амілопектину, тобто розпадом їх макромолекул на менші фрагменти внаслідок розриву $-C-O-C-$ зв'язків:



де R_i — фрагменти крохмалю.

Оскільки в таких реакціях іони гідрогену не витрачаються, то їх вважають каталізатором. Такий гідроліз має промислове значення і його проводять у порівняно сильноокислених розчинах і за температур вищих, ніж температура клейстеризації.

Можливість перебігу гідролізу крохмалю в умовах нашого експерименту було перевірено шляхом визначення зміни маси його наважок при обробці їх буферними розчинами за температури 50°C (тобто до початку клейстеризації). Припустили, що при гідролізі можуть утворитися водорозчинні фрагменти полімерів, що призведе до зменшення маси крохмалю. Наважки крохмалю (2 г) витримували при інтенсивному перемішуванні одну годину в розчинах (об'ємом 75 мл). Потім декантували, тричі промивали дистильованою водою з подальшою декантацією та висушували нерозчинний залишок при $100\text{—}110^\circ\text{C}$. Дослідження показали, що зміни в масах наважок крохмалю в дослідях з дистильованою водою і розчинами з pH 3—4 є однаковими і становлять 16,75%. Аналогічне зменшення маси на 16,75% спостерігали при висушуванні крохмалю за тих же температур, що вказує на зменшення маси внаслідок його дегідратації. Отже, в умовах проведених експериментів при pH 3—4 утворення водорозчинних олігомерів крохмалю не підтверджено, що дає змогу зробити висновок про відсутність гідролізу за обраних умов (pH 3—4, час — 60 хв, температура — 50°C , модуль — 27 г/л).

Збільшення кислотності суспензії в діапазоні pH 3—4 і температурі $60\text{—}70^\circ\text{C}$ призводить до прискорення вилучення амілози з картопляного крохмалю. Оскільки утворення водорозчинних форм при температурі 50°C і підвищенні кислотності суспензії крохмалю до pH 3—4 не було виявлено, то можливим гідролізом крохмалю можна знехтувати і на встановлені в дослідженні закономірності щодо прискорення процесу клейстеризації він не впливає. Припущення про вплив

іонів гідрогену на міцність міжмолекулярних водневих зв'язків амілози добре пояснює отримані експериментальні дані. Незважаючи на відсутність хімічної реакції як такої, іони гідрогену можна розглядати як своєрідний каталізатор процесу вилучення амілози з крохмальних гранул, оскільки в їх присутності знижується енергія активації процесу та підвищується його швидкість. Формальне використання математичного опису процесу клейстеризації за допомогою рівнянь хімічної кінетики виявилось виправданим з точки зору виявлення закономірностей перебігу процесу і можливості кількісної оцінки його параметрів.

Висновки

Досліджено вплив кислотності суспензії картопляного крохмалю на ступінь вилучення амілози в ізотермічних умовах. Апроксимація експериментальних даних з коефіцієнтом кореляції більше 0,99 проведена за рівнянням Крюгера-Циглера. Отримані константи швидкості процесу екстракції амілози використано для розрахунку енергій активації цього процесу за рівнянням Ареніуса. Встановлено, що зменшення рН суспензії від 6,8 до 3 призводить до зменшення енергії активації від 191,3 кДж/моль до 22,2 кДж/моль. Залежність енергії активації від рН має S-подібний характер. Така залежність пояснена впливом іонів гідрогену на силу міжмолекулярної взаємодії амілози та ефектом насичення ними крохмалю в інтервалі рН 3—3,5. Отже, іони гідрогену можна розглядати як умовний каталізатор процесу клейстеризації і підкислення суспензії в зазначеному діапазоні рН та запропонувати як спосіб технологічного вирішення проблеми прискорення процесу.

Література

- Скнар, І. В., Миргородська-Терентьева, В. Д., Должиков, С. С., Ніколенко, М. В. (2023). Клейстеризація картопляного крохмалю способом *in vitro* за надмірного вмісту води. 1. Кінетика процесу в ізотермічних умовах. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 29(1), 188—198. Взято з: <https://drive.google.com/file/d/1P-L8xlqkudhsbb-XJPnCqRdTrTYRea5R/view>.
- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., O'Mahony, J. A. (2016). Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 70, 291—300. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.014>.
- Apriyanto, A., Compart, J., Fetke, J. (2022). A review of starch, a unique biopolymer — Structure, metabolism and in planta modifications. *Plant Science*, 318, 111223. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111223>.
- Chavan, P., Sinhmar, A., Nehra, M., Thory, R., Pathera, A. K., Sundarraj, A. A., Nain, V. (2021). Impact on various properties of native starch after synthesis of starch nanoparticles: A review. *Food Chemistry*, 364, 130416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130416>.
- Donmez, Dila, Pinho, Lorena, Patel, Bhavesh, Desam, Prasuna, Campanella, Osvaldo H. (2021). Characterization of starch—water interactions and their effects on two key functional properties: starch gelatinization and retrogradation. *Food physics and materials science*, 39, 103—109. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.018>.
- Kaur, P., Kaur, K., Basha, S. J., Kennedy, J. F. (2022). Current trends in the preparation, characterization and applications of oat starch — A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 172—181. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.117>.

Li, C. (2022). Recent progress in understanding starch gelatinization — An important property determining food quality. *Carbohydrate Polymers Available*, 119735. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119735>.

Majzoobi, M., Farahnaky, A. (2021). Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. *Food Hydrocolloids*, 111, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106393>.

Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D., Ring, S. G. (1985). The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*, 135(2), 271—281. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)90778-X](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)90778-X).

Palav, T., Seetharaman, K. (2006). Mechanism of starch gelatinization and polymer leaching during microwave heating. *Carbohydrate Polymers*, 65, 364—370. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.01.024>.

Putseys, J. A., Gommès, C. J., Van Puyvelde, P., Delcour, J. A., Goderis, B. (2011). In situ SAXS under shear unveils the gelation of aqueous starch suspensions and the impact of added amylose–lipid complexes. *Carbohydrate Polymers*, 84(3), 1141—1150. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.01.003>.

Renzetti, S., van den Hoek, I., van der Sman, R. (2021). Mechanisms controlling wheat starch gelatinization and pasting behaviour in presence of sugars and sugar replacers: Role of hydrogen bonding and plasticizer molar volume. *Food Hydrocolloids*, 119, 106880. <https://doi.org/10.3390/foods10102311>.

Spigno, G., De Faveri, D. M. (2004). Gelatinization kinetics of rice starch studied by non-isothermal calorimetric technique: influence of extraction method, water concentration and heating rate. *Journal of Food Engineering*, 62, 337—344. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00248-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00248-6).

Van der Sman, R. G. M., Mauer, L. J. (2019). Starch gelatinization temperature in sugar and polyol solutions explained by hydrogen bond density. *Food Hydrocolloids*, 94, 371—380. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.03.034.

Setyawati, Yohana Dwi, Ahsan, Sitti Faika, Ong, Lu Ki, Soetaredjo, Felycia Edi, Ismadji, Suryadi, Ju, Yi-Hsu. (2016). Production of glutinous rice flour from broken rice via ultrasonic assisted extraction of amylose. *Food Chemistry*, 203, 158—164. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.02.068.

Yuanhui, Li, Zhenfeng, Wu, Na, Wan, Xuecheng, Wang, Ming, Yang. (2019). Extraction of high-amylose starch from *Radix Puerariae* using high-intensity low-frequency ultrasound. *Ultrasonics — Sonochemistry*, 59, 104710. doi: 10.1016/j.ultsonch.2019.104710.

FORTIFICATION OF CHOPPED SEMI-FINISHED PRODUCTS USING OAT FLOUR AND DRY DEMINERALIZED MILK WHEY

O. Chernyushok, A. Dubivko, Yu. Biryuk

National University of Food Technologies

Key words:

Poultry meat
Whey
Oat flour
Chopped semi-finished product
Fortification

Article history:

Received 20.03.2023
Received in revised form 10.04.2023
Accepted 30.04.2023

Corresponding author:

O. Chernyushok

E-mail:

chernyushokolga@ukr.net

Citation: Чернюшок О. А., Дубівко А. С., Бірюк Ю. В. (2023). Фортифікація посічених напівфабрикатів з використанням вівсяного борошна та сухої демінералізованої молочної сироватки. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 84—92.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-8

ABSTRACT

The article is devoted to the study of the possibility of fortification chopped semi-finished products with elements of magnesium and manganese, with which whey is pre-enriched. In addition, it is also suggested to use oat flour from sprouted grains in a colloidal solution with zinc. The work presents five developed recipes of semi-finished meat products with different recipe composition and content of enriching components. The results of experimental studies of all samples and the influence of introduced components on the quality of finished products are given. The tasting commission assessed the quality of finished products on a five-point scale. It was established that the highest results according to sensory indicators were obtained by a sample of natural chopped schnitzel with a ratio of enriched demineralized whey and oat flour — 50:50.

It was experimentally proven that if dry demineralized whey and oat flour from sprouted grains are added to minced meat, not only the sensory, but also the physicochemical indicators of the quality of chopped semi-finished products improved. The obtained results showed that the introduced components in the recommended amount affect the plasticity of minced meat. As a result of research, it was established that with an increase in the concentration of dairy and vegetable raw materials, the plasticity of the products increased.

The amino acid composition and biological value of the developed products were studied. The analysis of research results showed that the introduction of the proposed components makes it possible to solve technological problems of forming the required consistency, increase the moisture-binding capacity and improve the taste properties of the product.

It was established that the development of chopped semi-finished products containing a composite mixture of oat flour and dry demineralized whey fortified with Mg and Mn is feasible. It is possible to obtain a product with improved sensory and physicochemical indicators, the amino acid composition of the finished product improves and its biological value increases.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-2-

ФОРТИФІКАЦІЯ ПОСІЧЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІВСЯНОГО БОРОШНА ТА СУХОЇ ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ

О. А. Чернюшок, А. С. Дубівко, Ю. В. Бірюк

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена вивченню можливості фортифікації мікроелементами Магнію та Мангану, якими попередньо збагачена сироватка молочна, що пропонується у використанні м'ясних продуктів, м'ясних напівфабрикатів у вигляді шніцелю натурального посіченого. Окрім сироватки молочної збагаченої, пропонується використання вівсяного борошна з пророщених зерен на колоїдному розчині з Цинком.

Представлено п'ять розроблених рецептур м'ясних напівфабрикатів з різним рецептурним складом і вмістом збагачувальних компонентів. Наведено результати експериментальних досліджень усіх зразків і впливу внесених збагачувальних компонентів на якість готових виробів. Дегустаційною комісією проведено оцінку якості готових виробів за п'ятибальною шкалою. Встановлено, що найвищі результати за органолептичними показниками отримав зразок шніцелю натурального посіченого з співвідношенням демінералізованої сироватки збагаченої і вівсяного борошна в кількості 50 на 50%.

Експериментально доведено, що в разі додавання в м'ясний фарш сухої демінералізованої молочної сироватки і вівсяного борошна з пророщених зерен поліпшуються не лише органолептичні, а й фізико-хімічні показники якості посічених напівфабрикатів. Отримані результати показали, що внесені компоненти в рекомендованій кількості впливають на пластичність фаршу. Встановлено, що зі збільшенням концентрації молочної та рослинної сировини пластичність виробів збільшується.

Досліджено амінокислотний склад і біологічну цінність розроблених продуктів. Аналіз результатів досліджень показав, що внесення запропонованих компонентів дає змогу вирішити ряд технологічних завдань із формування необхідної консистенції, підвищити вологозв'язувальну здатність і поліпшити смакові властивості продукту.

Встановлено, що розробка посічених напівфабрикатів, які містять у своєму складі композиційну суміш з вівсяного борошна та сухої демінералізованої молочної сироватки, фортифікованої Mg та Mn, є доцільною. Завдяки внесенню компонентам можна отримати виріб з покращеними органолептичними та фізико-хімічними показниками, амінокислотний склад готової продукції покращується та підвищується її біологічна цінність.

Ключові слова: м'ясо птиці, молочна сироватка, вівсяне борошно, посічений напівфабрикат, фортифікація.

Постановка проблеми. У сучасному світі значно зростає роль м'ясопереробної промисловості у вирішенні проблеми забезпечення населення якісними та біологічно повноцінними продуктами харчування. Для нормальної життєдіяльності і

доброго засвоєння їжі людський організм повинен одержувати всі поживні речовини в певних співвідношеннях (Зубар, Руль, & Булгакова, 2013).

На сьогодні актуальним є питання підвищення рівня білкового забезпечення в харчуванні, адже білок відповідає за нормальний розвиток і функціонування людського організму, є незамінним джерелом амінокислот (Чернюшок, & Кочубей-Литвиненко, 2018), виконує роль будівельного матеріалу в процесі розвитку клітин і обміну речовин в організмі.

Одним із найефективніших способів покращення здоров'я споживачів є розширення асортименту продуктів для здорового харчування. Промислове виробництво таких продуктів неможливе без використання харчових функціональних інгредієнтів і збагачувачів.

Розробка м'ясних продуктів, які містять рослинні та молочні білки, забезпечує максимальне використання ресурсів, а також сприяє створенню рецептур і технологій одержання збалансованих продуктів харчування.

Аналіз літературних джерел (Чернюшок, Бірюк, & Полоз, 2021) свідчить, що недостатньо вивченими залишаються методологічні підходи моделювання якості посічених напівфабрикатів на основі м'яса птиці з композиційними сумішами. Невирішеним залишається питання стабілізації структурно-механічних властивостей посічених напівфабрикатів, моделювання їх біологічної цінності, тому вдосконалення технології посічених напівфабрикатів в паніровці з копченою паприкою та внесенням до фаршу композиційної суміші фортифікованої Манганом і Магнієм сухої демінералізованої молочної сироватки та вівсяного борошна з пророщених зерен на колоїдному розчині з Цинком (Потапенко, Ємельянова, Українець, Мукоїд, Чумакова, Лапшин, & Мілютін, 2006) для розширення асортименту повноцінних продуктів харчування на м'ясній основі є актуальним та значущим науково-прикладним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні тенденції харчування населення все більше орієнтовані на розвиток ринку швидких і легких у приготуванні продуктів, які одночасно мають високу харчову цінність і доступні для пересічного споживача. М'ясні продукти є одним із сегментів ринку продуктів швидкого приготування, що розвивається найбільш активно. Значну частину ринку м'ясних продуктів наразі становлять м'ясні заморожені напівфабрикати.

Упродовж останніх років в Україні обсяги виробництва м'ясних напівфабрикатів характеризуються значними коливаннями (Бартковський, 2021): від 78,4 тис. т у 2016 р. до 68,8 тис. т у 2020 році. За 2021 р. виробництво м'ясних напівфабрикатів в Україні склало 71,9 тис. т, що становить 109,8% від виробництва за відповідний період минулого року.

Поміж причин, які характеризують значні коливання об'ємів виробництва м'ясних напівфабрикатів за попередні роки, є складна економічна та політична ситуація в країні, викликана як військовою агресією країн-сусідів, так і пандемією вірусу COVID-19. Проте всупереч усім кризовим явищам ринок заморожених напівфабрикатів є одним із найпопулярніших сегментів харчової промисловості України, кількість виробництва м'ясних напівфабрикатів у 2021 р. зросла (рис. 1), тому можна стверджувати, що вищенаведені причини стали поштовхом для виробників до пошуку і розвитку нових напрямів виробництва цього виду продукту.

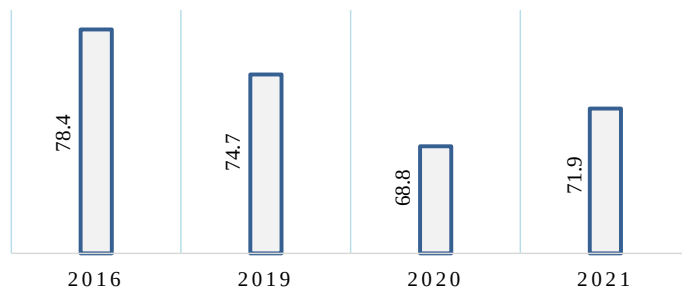


Рис. 1. Обсяги виробництва напівфабрикатів м'ясних, тис. тонн

Зважаючи на складну ситуацію на вітчизняному ринку м'ясної сировини і періодичний її дефіцит в охолоджену стані, для забезпечення безперервної роботи виробникам м'ясних напівфабрикатів необхідно розширювати сировинну базу шляхом використання м'яса птиці, молочних і рослинних білків (Ощипок, 2015; Agarwal, Beausire, Patel, & Patel, 2015). Продукція з м'яса птиці дуже популярна, тому що є одним з основних джерел білка для організму людини, і вироби з нього мають велике значення для здоров'я (Пасічний, 2008).

Відомо, що Mg та Mn необхідні для нормального функціонування організму людини (Чернюшок, & Кочубей-Литвиненко, 2018). Значення Mg в життєдіяльності проявляється в тому, що він є універсальним регулятором біохімічних і фізіологічних процесів в організмі, беручи участь у різноманітних метаболічних процесах. Добова норма магнію для жінок 310–320 мг, для чоловіків — 400–420 мг.

Манган фізіологічно пов'язаний з вітамінами B₁, B₂, B₁₂, C, E, позитивно впливає на синтез вітаміну C, сприяє підвищенню біологічної активності вітамінів B₂ і B₁₂, посилює засвоєння йоду організмом і синтез гормонів щитовидної залози. Добова потреба в мангані — 5–7 мг.

У дослідженнях (Чернюшок, Шевченко, & Бірюк, 2020) підтверджується перспективність використання м'яса птиці для розроблення функціонального продукту при поєднанні м'яса птиці та рослинної сировини, яка є гарним джерелом білка, вітамінів, харчових волокон, мінеральних речовин.

Метою дослідження є удосконалення технології посічених напівфабрикатів у паніровці з використанням композиційної суміші вівсяного борошна та фортифікованої Магнієм і Манганом сухої демінералізованої молочної сироватки.

Матеріали і методи. Об'єкти дослідження — зразки посічених напівфабрикатів (шніцелю натурального посіченого), що містять філе куряче, м'ясо котлетне свиняче, яйця курячі, сухарі панірувальні з копченою паприкою, цибулю ріпчасту свіжу, перець чорний, сіль кухонну, часник свіжий. Зразки відрізнялися вмістом гідратованої демінералізованої молочної сироватки, фортифікованої Mn і Mg, та гідратованого вівсяного борошна.

Досліджені органолептичні, структурно-механічні, фізико-хімічні показники (Янчева, Дроменко, Гринченко, Потапов, & Крайнюк, 2015): зовнішній вигляд, вигляд на розрізі, консистенція, запах, смак, вміст вологи, вологоутримувальна та вологозв'язувальна здатність, pH, пластичність. При визначенні обсіменіння м'ясних виробів застосовані мікробіологічні методи (Баль-Прилипко, 2010).

Результати і обговорення. Розроблено зразки посічених напівфабрикатів, які відрізнялися вмістом гідратованої демінералізованої молочної сироватки, фортифікованої Mn та Mg, та гідратованого вівсяного борошна. Розроблені рецептури представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Рецептури посічених напівфабрикатів з використанням сухої демінералізованої молочної сироватки фортифікованої і вівсяного борошна

Сировина	Вміст, %				
	Зразок 1 (контроль)	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
М'ясо котлетне яловиче	35,0	—	—	—	—
Філе куряче	—	35,0	35,0	35,0	35,0
М'ясо котлетне свиняче	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
Гідратована демінералізована молочно сироватка (1:2)	—	10,0	—	5,0	10,0
Гідратоване вівсяне борошно (1:2)	—	—	10,0	5,0	10,0
Яйця курячі	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Цибуля ріпчаста свіжа	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5
Часник свіжий	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Перець чорний	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2
Сіль кухонна	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
Сухарі панірувальні	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Копчена паприка	—	2,0	2,0	2,0	2,0
Вода питна	26,25	15,0	15,0	15,0	5,0
Всього:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Оцінка якості готових виробів здійснювалась дегустаційною комісією за п'ятибальною шкалою. Враховувались зовнішній вигляд, вигляд на розрізі, смак, запах, консистенція. Дегустаційна оцінка проводилась згідно з розробленими таблицями, в яких кожному показнику якості відповідала його характеристика. Результати дегустації представлені на рис. 2.

Зразки № 2 та № 3 за консистенцією поступаються контрольному зразку № 1. Найменшу кількість балів отримав зразок № 5. Це вказує на те, що при використанні демінералізованої молочної сироватки, фортифікованої Mg та Mn, та борошна вівсяного у кількості 10% знижуються органолептичні показники готового продукту. Виріб має сухішу консистенцію та набуває специфічного присмаку. Причиною цього може бути недостатня кількість води в рецептурі зразка.

Найкращим на думку дегустаторів виявився зразок № 4 — співвідношення демінералізованої сироватки збагаченої і вівсяного борошна становить 50/50%. Готовий продукт характеризується ніжною консистенцією та покращеними зовнішнім виглядом і смаковими характеристиками.

Дослідження фізико-хімічних показників модельних фаршів розроблених рецептур проводилось з метою спостереження за динамікою змін у процесі приготування напівфабрикатів.

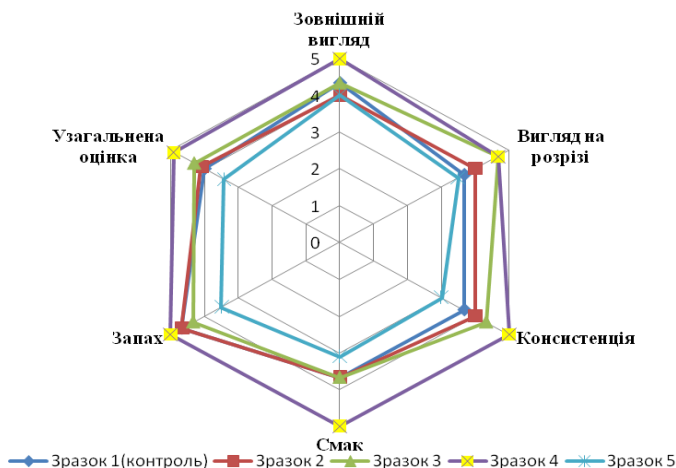


Рис. 2. Профілограма органолептичної оцінки розроблених зразків

Збільшення кількості додатково внесених компонентів також вплинуло на пластичність фаршу. В результаті досліджень встановлено, що зі збільшенням концентрації молочної та рослинної сировини пластичність виробів збільшувалася.

Отримані результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники досліджуваних модельних фаршів

Назва показника	Зразок 1 (контроль)	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
Вміст води, %	74,90±0,48	68,24±1,01	71,43±0,50	73,04±0,61	63,32±0,5
ВЗЗ, %	77,50±0,73	91,06±0,63	88,51±0,50	93,90±0,90	74,6±0,5
ВУЗ, %	71,30±0,05	84,63±0,05	83,12±0,02	86,72±0,02	66,8±0,05
pH	5,7	5,95	5,8	5,75	5,65
Пластичність, (см ² ·кг)/г	14,47	15,27	17,00	17,70	12,84

Представлені результати свідчать, що рецептура посічених напівфабрикатів зразка № 4 має найкращі функціонально-технологічні показники, порівняно з іншими дослідними зразками. Для забезпечення високої якості посічених напівфабрикатів значення ВЗЗ фаршів має бути на рівні 85%. Аналіз результатів підтверджує, що поєднання в рецептурах напівфабрикатів сухої демінералізованої сироватки фортифікованої і вівсяного борошна покращує показники ВЗЗ, ВУЗ та пластичність у модельних фаршах.

Одним із важливих показників якості готової продукції є параметри її мікробіологічного стану. Присутність у зразках патогенних мікроорганізмів, включаючи бактерії роду *Salmonella*, бактерій групи кишкових паличок (коліформи), сульфитредукуючих клостридій, не допускається.

Дослідження мікробіологічних показників розроблених посічених напівфабрикатів проводилось у Національному університеті харчових технологій. Для аналізу було надано проби контрольного та зразка № 4, що містить у своєму складі

композиційну суміш з демінералізованої молочної сироватки, фортифікованої Mg, Mn, та вівсяного борошна.

Результати досліджень представлені у табл. 3.

Таблиця 3. Параметри мікробіологічних показників досліджуваних зразків

№ п/п	Назва показника	Норма	Метод контролю	Дослідні зразки	
				№ 1 (контр.)	№ 4
1	Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАМ), КУО, в 1 г продукту, не більше ніж	$1,0 \cdot 10^7$ ($1 \cdot 10^6$)	Згідно з ГОСТ 4288	$3,2 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$

Результати досліджень мікробіологічних показників розроблених зразків посічених напівфабрикатів відповідають вимогам нормативних документів, зокрема ДСТУ 4437:2005 «Напівфабрикати м'ясні та м'ясо-рослинні посічені. Технічні умови».

Бактерії групи кишкових паличок і бактерій роду *Salmonella* у зразках не виявлені, кількість МАФАМ знаходиться в межах допустимої норми і становить $4,7 \cdot 10^4$ для зразка № 4.

Критеріями для визначення біологічної цінності білка є його ефективність використання і ступінь перетравлення організмом людини (Bedzai, 2019). З точки зору повноцінного харчування не суттєво, білок якого походження ми споживаємо, — рослинного чи тваринного.

Для розрахунку біологічної цінності було визначено амінокислотний склад посічених напівфабрикатів. Амінокислотний СКОР розраховувався за формулою:

$$AK_{\text{скор}} = (AK_{np} / AK_{cm}) 100, \quad (1)$$

де AK_{np} — вміст незамінної амінокислоти у досліджуваному продукті, г; AK_{cm} — вміст амінокислоти у «ідеальному» білку, г.

За цим показником оцінюється повноцінність білкових речовин у харчових продуктах за збалансованістю НАК.

Коефіцієнт розрізнення амінокислотного СКОР (КРАС, %) вказує на середню величину надміру амінокислотного СКОР НАК, якщо порівняти з найменшим рівнем СКОР будь-якої НАК. Отримані результати представлені в табл. 4.

Розраховуємо КРАС за формулою:

$$KPAC = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta PAC_i}{n}, \%, \quad (2)$$

де ΔPAC_i — різниця між амінокислотним СКОРОм i -амінокислоти і СКОРОм лімітуючої амінокислоти; n — кількість незамінних амінокислот.

$$\Delta PAC = C_j - C_{min}, \quad (3)$$

де C_j — надлишкова амінокислота, %; C_{min} — лімітована амінокислота, %.

Біологічна цінність визначається за формулою:

$$БЦ = 100 - KPAC, \%. \quad (4)$$

Таблиця 4. Вміст незамінних амінокислот у досліджуваних посічених напівфабрикатах

Назва амінокислоти	Еталон ФАО/ ВООЗ, мг/г	Контрольний зразок		Зразок № 4	
		Кількість, мг/г	СКОР, %	Кількість, мг/г	СКОР, %
Валін	50,0	53,9	108	49,6	99
Ізолейцин	40,0	44,6	112	43,7	109
Лейцин	70,0	75,2	107	74,3	106
Лізин	55,0	79,5	145	80,8	147
Метіонін	35,0	25,6	73	26,6	76
Треонін	40,0	42,8	107	46,1	115
Триптофан	10,0	12,5	125	14,3	143
Фенілаланін	60,0	40,4	67	43,8	73
Загальна кількість НАК	360,0	374,5	—	379,2	—

Коефіцієнт утилітарності (U) амінокислотного складу має практичне значення, оскільки показує здатність організму людини утилізувати білкову частину продукту. Також коефіцієнт утилітарності є кількісною характеристикою, яка достатньо повно відображає збалансованість $НАК$ щодо еталону.

Коефіцієнт утилітарності U розраховується за формулою:

$$U_{AK} = C_{min} \frac{\sum НАК_{еталону}}{\sum НАК_{продукту}}, \text{ одиниця частки.} \quad (5)$$

Для встановлення рівня незбалансованої частки білкового складу продукту, яка буде витрачатись організмом на енергію, розраховується коефіцієнт надлишковості (σ) за формулою:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^8 (НАК_i^{продукту} - AC_{min} НАК_i^{еталону})}{AC_{min}}. \quad (6)$$

Таблиця 5. Результати розрахунку біологічної цінності посічених напівфабрикатів

Показник	Зразок № 1 (контрольний)	Зразок № 4
Лімітований СКОР, %	67	73
КРАС, %	38,5	35,5
БЦ, %	61,5	64,5
U	0,64	0,69
σ	19,9	15,95

Висновки

На основі проведених аналітичних та експериментальних досліджень розроблено технологію посічених напівфабрикатів завдяки введення в рецептуру сухої демінералізованої молочної сироватки фортифікованої і вівсяного борошна з пророщених на колоїдному розчині Цинку зерен.

У результаті досліджень встановлено, що розробка посічених напівфабрикатів, які містять у своєму складі композиційну суміш з вівсяного борошна та сухої демінералізованої молочної сироватки, фортифікованої Mg та Mn, є доцільною. Завдяки внесеним компонентам можна отримати виріб з покращеними органолептичними та фізико-хімічними показниками, амінокислотний склад готової продукції покращується і підвищується її біологічна цінність.

У подальшому планується дослідити вплив додатково внесених компонентів на медико-біологічні показники організму після вживання напівфабрикатів.

Література

Баль-Прилипка, Л. В. (2010). *Технологія зберігання, консервування та переробки м'яса*. Київ: КВІЦ.

Бартковський, І. (2021). Перспективи українського морозива та заморожених напівфабрикатів на ринку Китаю. *Україна-Китай*, 2(22), 53—55.

Зубар, Н., Руль, Ю., & Булгакова, М. (2013). *Фізіологія харчування*. Київ: Центр учбової літератури.

Ощипок, І. (2015). Використання нових харчових добавок з рослинної сировини у харчовій промисловості. *Вісник Львівської комерційної академії*, 15, 77—81.

Пасічний, В. (2008). Технологічні перспективи використання м'яса птиці в м'ясопереробній промисловості. *Додаток до журналу Фермер «Птаківництво»*, 50—51.

Потапенко, С., Ємельянова, Н., Українець, А., Мукоїд, Р., Чумакова, О., Лапшин, В., Мілютін, А. (2006). Пророщені зерна злакових культур. Перспективи їх використання у харчовій промисловості. *Харчова і переробна промисловість*, 7, 19—21.

Чернюшок, О., Бірюк, Ю., Полоз, Д. (2021). *Аналіз ринку м'ясних напівфабрикатів в Україні*. Матеріали X-ї Міжнародної науково-технічної конференції. Київ: Наука.

Чернюшок, О., Кочубей-Литвиненко, О. (2018). Використання сухої демінералізованої молочної сироватки збагаченої магнієм та марганцем у виробництві січених напівфабрикатів. *Збірник наукових праць «Аграрна наука та харчові технології»*, 2(101), 180—187.

Чернюшок, О., Шевченко, І., Бірюк, Ю. (2020). *Ринок м'ясних напівфабрикатів України та можливості розширення їх рецептурного складу*, Матеріали I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Кривий Ріг: Наука.

Янчева, М., Дроменко, О., Гринченко, О., Потапов, В., & Крайнюк, Л. (2015). *Технологічні аспекти виробництва напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених із використанням емульсійних систем*. Харків: ХДУХТ.

Agarwal, S., Beausire, R., Patel, S., Patel, H. (2015). Innovative uses of milk protein concentrates in product development. *Journal of food science*, 80, 23—29.

Bedzai, A. (2019). Хімічні елементи в організмі людини, їх значення та вплив на біологічні процеси. *Буковинський медичний вісник*, 92, 179—184. doi: 10.1111/1750-3841.12807.

Dechen, A., Carmello, Q., Monteiro, F., Nogueirol, R. (2015). Role of magnesium in food production: an overview. *Crop and Pasture Science*, 66(12), 1213—1218, <https://doi.org/10.1071/CP15094>.

Lagrange, V., Whittett, D., Burris, C. (2015). Global market for dairy proteins. *Journal of food science*, 80, A16—A22, doi: 10.1111/1750-3841.12801.

York, R. (2011). The meat crisis: developing more sustainable production and consumption. *The Journal of Peasant Studies*, 38:3, 660—663, doi:10.1080/03066150.2011.583814.

MONITORING THE SAFETY OF CHEESECAKES BASED ON HACCP PRINCIPLES

D. Seleznova, O. Niemirich, O. Kuzmin, A. Havrysh, L. Mamchenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Technology of cheesecake
Safety of cheesecake
System of monitoring
Control critical point
HACCP system
Monitoring indicators*

Article history:

Received 17.04.2023
Received in revised form
03.05.2023
Accepted 18.05.2023

Corresponding author:

D. Seleznova

E-mail:

dasha.1915s@gmail.com

Citation: Селезньова Д. В.,
Неміріч О. В., Кузь-
мін О. В., Гавриш А. В.,
Мамченко Л. Є. (2023).
Моніторинг безпечності
чизкейків на основі прин-
ципів HACCP. *Наукові
праці НУХТ*, 29(3),
93—109.

DOI: 10.24263/2225-
2924-2023-29-3-9

ABSTRACT

The safety of restaurant products is an important aspect in production and in the establishment of the restaurant. There are many ways to prevent the occurrence of dangerous factors during production, but the most effective safety system is the HACCP system. The principles of this system were taken for research and development of a system for monitoring the safety of the production of desserts, namely cold cheesecake for the restaurant industry. During the research, various types of dangerous factors — biological, physical and chemical — were analyzed at different stages of production: from the supply of raw materials to the sale of finished products.

During the stage of acceptance of raw materials, the possibility of the influence of a physical factor — flour moisture — was revealed. During the temporary storage of all products, there is a possibility of the development of various microorganisms, that is, the danger of a biological factor. During the main technological processes (baking, cooling), the development of pathogenic microorganisms is possible, attributed to the influence of a biological factor. The risk of contamination of biological origin is also present during temporary storage of finished products.

Critical control points were identified and an action plan was developed to eliminate possible microbiological contamination. The temperature regimes of the main operations of the production process, measures to prevent diseases of the facility's employees, and conditions and terms of storage of raw materials and finished products were determined. A list of prerequisite programs was developed to prevent such contamination during a technological process that is not controlled by critical control points. Based on the results of the research, a list of journals and a list of forms for the system of monitoring the safety of cheesecake of the classic cold cooking method were developed for control in the restaurant industry.

Elements of the developed safety monitoring system were implemented in the restaurant industry. Acts were drawn up as a result. They indicated the results and the economic and social effect of the implementation.

МОНІТОРИНГ БЕЗПЕЧНОСТІ ЧИЗКЕЙКІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ НАССР

Д. В. Селезньова, О. В. Нєміріч, О. В. Кузьмін, А. В. Гавриш,
Л. Є. Мамченко

Національний університет харчових технологій

Безпека продукції ресторанного господарства — важливий аспект у виробництві та у становленні самого закладу. В сучасному світі є чимало способів, щоб запобігти виникненню небезпечних факторів під час виробництва, але найдієвішою системою безпеки є система НАССР. Принципи системи були взяті для дослідження та розробки системи моніторингу безпечності та якості виробництва десертів, зокрема чизкейку холодного способу приготування для закладу ресторанного господарства. Впродовж дослідження проаналізовані небезпечні фактори (біологічні, фізичні та хімічні) на різних стадіях виробництва: від постачання сировини до реалізації готової продукції.

Під час етапу приймання сировини виявлено можливість впливу фізичного фактора — вологості борошна. Під час тимчасового зберігання всіх продуктів існує ймовірність розвитку різних мікроорганізмів, тобто небезпека біологічного фактора. Під час основних технологічних процесів (випікання, охолодження) можливий розвиток патогенних мікроорганізмів, який відносять до впливу біологічного фактору. Ризик забруднення біологічного походження наявний і при тимчасовому зберіганні готової продукції.

У статті визначено критичні контрольні точки, їх граничні межі та розроблений план дій для усунення можливого мікробіологічного забруднення, тобто перелік коригувальних дій. Визначено температурні режими основних операцій виробничого процесу, заходи для запобігання захворюванням працівників закладу та умови й терміни зберігання сировини і готової продукції. Для попередження подібного забруднення в ході технологічного процесу, що не контролюється критичними контрольними точками, розроблений перелік програм-передумов.

За підсумком проведених досліджень було розроблено перелік журналів і бланків для системи моніторингу безпечності чизкейку класичного холодного способу приготування для ведення контролю в закладі ресторанного господарства.

Елементи розробленої системи моніторингу безпечності були впроваджені в закладах ресторанного господарства. Внаслідок цього складені акти, де зазначені результати та економічний і соціальних ефект від впровадження.

Ключові слова: технологія чизкейку, безпечність чизкейку, система моніторингу, контрольна критична точка, система НАССР, моніторинг факторів.

Постановка проблеми. Зважаючи на сьогоднішнє, більшість закладів ресторанного господарства зачинаються через погіршення фінансового стану, деякі з них працюють, нічого не заробляючи, але допомагають при цьому звичайному населенню та критичним службам, лікарням. У важкий період для світу через масове поширення пандемії та для нашої країни, в ході повномасштабної війни

заклади ресторанного господарства намагаються підтримувати безпечність та якість продукту, що виробляється в їхніх стінах. Зважаючи на це, актуальним і обов'язковим є запровадження системи контролю безпечності та якості продукції ті послуг ресторанного господарства — системи НАССР.

НАССР — це системний підхід до ідентифікації, оцінки та контролю за безпекою під час обробки, виробництва та приготування їжі (Pal, & Mahendra, 2015; Rosak-Szyrocka et al., 2018; Kielesińska, 2018).

У межах реформи системи контролю безпечності харчових продуктів було прийнято Закон України, за яким з вересня 2019 р. набули чинності норми, що передбачають обов'язкове запровадження системи аналізу небезпечних факторів та контролю в критичних точках (НАССР) для малих підприємств, які проводять діяльність з харчовими продуктами. Система НАССР — це гарантія безпечної та якісної продукції закладу ресторанного господарства.

Впровадження принципів системи НАССР в закладі ресторанного господарства позитивно впливає на дотримання якості продукції, внутрішнього порядку у виробництві та підвищує авторитет закладу в його зовнішньому середовищі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серйозною проблемою охорони праці є хвороби та алергічні реакції харчового походження (Bukhari et al., 2021). Доволі часто люди стикаються з проблемами харчових отруєнь. Наразі більш поширеною проблемою є алергічні реакції внаслідок споживання продукції ресторанного підприємства, що може бути забрудненою шкідливими фізичними, хімічними, біологічними агентами (Newell et al., 2010) та алергенами через неправильне зберігання, а також недотримання санітарно-гігієнічних норм і правил.

Загалом, патогенні види бактерій, вірусів і паразитів здатні викликати харчові отруєння та хвороби, пов'язані з вживанням харчових продуктів (Petruzzelli et al., 2010; Kjeldgaard, Stormly, & Leisner, 2010). Варто зазначити, що більшість патогенних мікроорганізмів живуть і розмножуються на свіжих овочах та фруктах (Gupta, & Prakash, 2019), а також на свіжій тваринній і рибній сировині.

Вплив патогенних організмів на організм людини доволі негативний, адже спричиняє отруєння, токсикацію організму. Наслідки отруєнь можуть бути як ледь помітними, так і загрожувати життю людини. Тож постійний і суворий контроль за якістю та безпечністю продукції просто необхідний у закладах ресторанного господарства.

Чизкейк — це популярний десерт, який може бути приготований шляхом випікання або без нього. Сир є основним інгредієнтом, що використовується для приготування чизкейку. У світі існує безліч рецептів чизкейків із використанням багатьох видів сиру (Yasin, & Shalaby, 2013).

Серед споживачів особливий інтерес викликають чизкейки з кисломолочного сиру, які характеризуються високими споживчими властивостями, зважаючи на великий вміст жирів і мінеральних речовин, а також помірний вміст білків. Крім того, чизкейк містить продукти тваринного походження, свіжі фрукти та ягоди, продукти зернової переробки, що можуть бути потенційними носіями патогенних мікроорганізмів. Чизкейк класичний може реалізовуватися у мережах роздрібної торгівлі, закладах ресторанного господарства як повноцінний торт, так і десерт після трапези або до кави.

Чизкейки користуються попитом серед різних верств населення, в тому числі дітей, підлітків, людей, які приділяють увагу правильному харчуванню, та людей похилого віку.

Мета статті: розробка системи моніторингу безпечності виробництва чизкейку на основі принципів HACCP.

Матеріали і методи. Методичну основу дослідження складають методи аналітичного аналізу, порівняння, узагальнення, також використано довідкові матеріали з актуальних проблем моніторингу безпечності продукції на підприємствах ресторанного господарства.

Основними матеріалами для дослідження за обраною темою були технологічна карта і технологічна схема чизкейку класичного, загальна методика виявлення, аналізу й усунення небезпечних факторів.

Викладення основних результатів дослідження. Для актуальної та ефективної розробки системи моніторингу безпечності продукції надано характеристику закладу ресторанного господарства, де була використана продукція.

Об'єкт дослідження являє собою заклад ресторанного господарства, який у своєму асортименті має певний перелік десертів в основному меню, а також борошняні та кондитерські вироби в меню «До кави». За ознаками, що прописані в ДСТУ 4281:2004 «Заклади ресторанного господарства», заклад класифікується як загальнодоступний ресторан. Відповідно до типу закладу тут наявні також холодні та гарячі закуски, супи, другі страви та напої.

У закладі наявні всі необхідні для функціонування приміщення, що поділені на зони, розташовані в ході послідовності виробничого процесу, які забезпечені всіма необхідним комунікаціями, обладнанням та інвентарем. Заклад спроектований відповідно до всіх вимог і готовий до запровадження HACCP.

На першому етапі розробки системи HACCP визначили сферу застосування обраної групи продукції (десертів) та самого продукту (чизкейку класичного) і встановили вимоги щодо їх безпечності та якості згідно з ДСТУ ISO 22000:2019 та ДСТУ ISO 9001:2015.

Для приготування основи чизкейку — печива, використовуються різні види зернових культур, а також кисломолочний сир. Більш детальна форма опису продукту наведена в табл. 1. Зважаючи на дані, наведені в табл. 1, зроблено висновки, що продукт має певні біологічні, хімічні та фізичні характеристики щодо своєї безпечності і споживається як самостійний виріб.

Для встановлення небезпечних факторів, які можуть впливати на продукт під час його виробництва, було детально розглянуто технологію приготування.

Першим етапом виробництва продукції є приймання сировини. Приймання сировини здійснюється за кількістю і якістю. Для цього етапу передбачене приміщення, в якому забезпечується приймання, зважування, транспортування сировини у відповідні місця проміжного зберігання, з одночасним виконанням контролю й обліку всього асортименту продукції, яка приймається. Детальна технологічна схема виготовлення чизкейку класичного наведена на рис. 1, а також у табл. 2.

Таблиця 1. Форма опису чизкейку класичного

Вид та офіційна назва продукції	Чизкейк класичний
Категорія продукції	Десерт
Позначення та назва законодавчих норм, документів, які встановлюють вимоги до безпечності продукції	Дані відсутні
Склад продукту	Борошно пшеничне вищого гатунку, яйця курячі, цукор білий пісок, вершкове масло 72,5%, розпушувач, сіль кухонна, кисломолочний сир, вершки 30—33%, цукрова пудра, вода питна, желатин листовий, ванільний цукор, цедра апельсина, апельсин, лохина, м'ята свіжа
Біологічні характеристики, які стосуються безпечності продукту	Кількість МАФАМ, КУО в 1 г — не більше 1×10^5 бактерії групи кишкових паличок (коліформи), в 0,1 г — не дозволено; патогенні мікроорганізми, а також бактерії роду сальмонела, в 25 г — не дозволено; патогенні мікроорганізми, а також бактерії роду <i>Staphylococcus aureus</i> , в 1,0 г — не дозволено; патогенні мікроорганізми, а також бактерії роду <i>Listeria monocytogenes</i> , в 25 г — не дозволено; плісняві гриби, КУО в 1 г — не більше $1,0 \times 10^2$; дріжджі, КУО в 1 г — не більше $1,0 \times 10^2$
Хімічні та фізичні характеристики, які стосуються безпечності продукту	Масова частка вологи — не більше 50%; масова частка жиру — не менше 10%; масова частка цукру — не менше 11,5%; масова частка білка — не менше 8,6%; вміст свинцю — не більше 0,6 мг/кг; вміст кадмію — не більше 0,3 мг/кг; вміст міді — не більше 20,0 мг/кг; вміст цинку — не більше 100,0 мг/кг; вміст ртуті — не більше 0,1 мг/кг;
	вміст миш'яку — не більше 1,0 мг/кг; температура зберігання — не менше 2 °C і не більше 6 °C; відносна вологість при зберіганні — 75%
Строк придатності до споживання	72 год
Умови зберігання	Зберігати в охолоджувальних шафах при температурі 2...6 °C та вологості повітря не більше 75%; дотримування товарного сусідства для запобігання хемосорбції
Пакування	Коробки картонні/поліетиленові
Маркування стосовно безпечності продукту	Назва, маса, перелік інгредієнтів, мінімальний термін та умови зберігання, наявність алергенів, поживна цінність, кінцева дата споживання, зазначення виробника, країна, рекомендації щодо споживання
Методи розповсюдження (реалізації) продукції	У закладах ресторанного господарства та в роздрібній торгівлі
Вид та офіційна назва продукції	Чизкейк
Використання за призначенням	Як самостійний виріб
Можливе використання не за призначенням	Дані відсутні

Передбачувані споживачі	Широкі маси населення
Уразливі групи споживачів	Хворі на целиакію, мають гостру алергію на яйця або білок казеїн, непереносимість лактози, хворі на діабет

На рис.1 чітко можна побачити як приготування чизкейку класичного можна поділити на три вертикальні групи, а саме: приготування печива, приготування сирної основи і безпосередньо приготування чизкейку класичного.

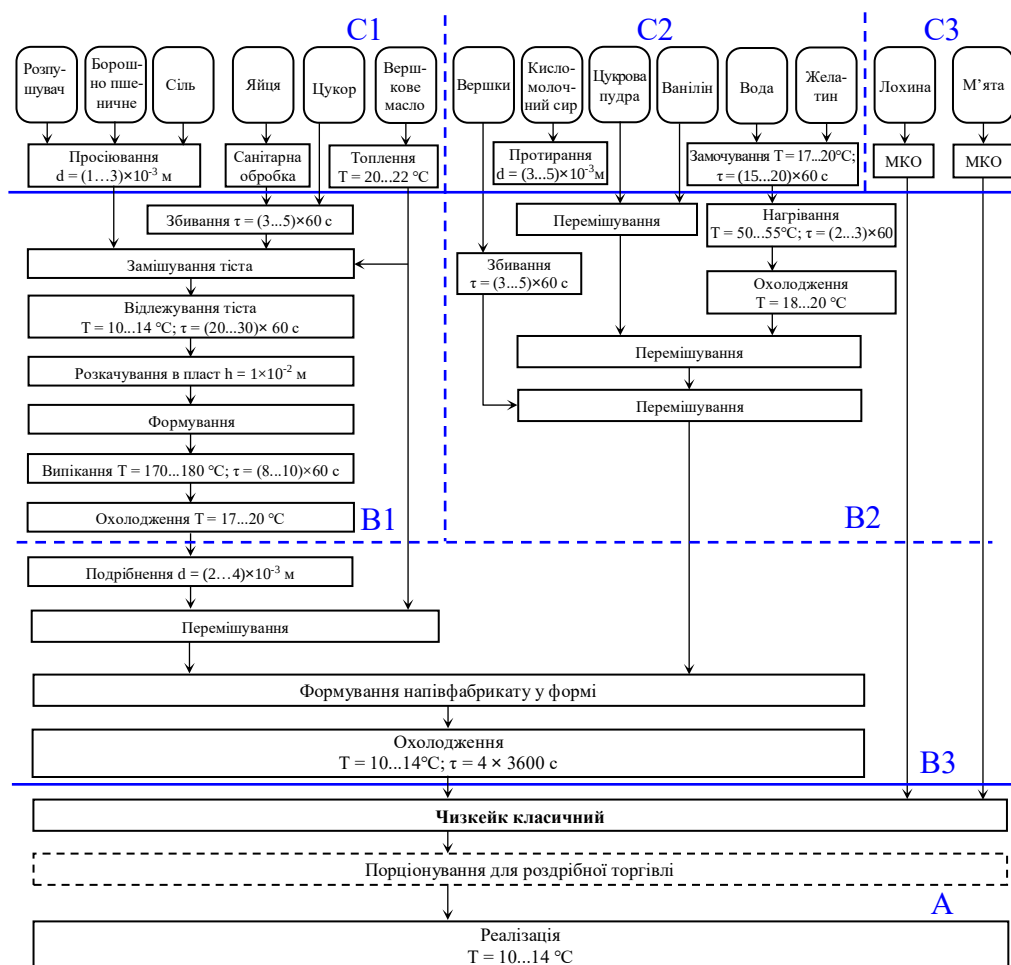


Рис. 1. Блок-схема технології виробництва чизкейку класичного

Перед замішуванням тіста сипкі інгредієнти просіюються, рідкі проціджуються, а потім дозуються. Етапи нагрівання, випікання та охолодження є досить важливими з точки зору безпеки. При недотриманні заданих умов під час виконання цих процесів може вийти продукт з надлишковим вмістом вологи, що призводить до утворення патогенної мікрофлори.

Таблиця 2. Характеристика етапів приготування

Назва етапу (підсистеми)	Назва напівфабрикату	Характеристика процесів
Підготовка сировини — підсистема С	Для печива (підсистема С1)	Просіювання розпушувача, борошна пшеничного та солі крізь сито діаметром $d = (1...3) \times 10^{-3}$ м; санітарна обробка яєць; топлення масла до температури 20...22 °С
	Для сирної основи (підсистема С2)	Протирання кисломолочного сиру крізь сито діаметром $d = (3...5) \times 10^{-3}$ м; замочування желатину
	Для чизкейку готового (підсистема С3)	Механічна кулінарна обробка лохини та свіжої м'яти
Підготовка основних напівфабрикатів — підсистема В	Для печива (підсистема В1)	Збивання яєць тривалістю $\tau = (3...5) \times 60$ с, при загальній потужності 750 об/хв, спочатку на низьких швидкостях, поступово підвищуючи, до повного розчинення цукру та однорідності маси; змішування сухих речовин з яєчною сумішшю та топленим маслом — замішування тіста; відлежування тіста (тістоутворення) тривалістю $\tau = (20...30) \times 60$ с, при температурі $T = 10...14$ °С; розкочування в пласт висотою 1 см; випікання при температурі $T = 170...180$ °С тривалістю $\tau = (8...10) \times 60$ с; охолодження до температури $T = 17...20$ °С
Підготовка основних напівфабрикатів — підсистема В	Для сирної основи (підсистема В2)	Змішування кисломолочного сиру, цукрової пудри і ваніліну; збивання вершків при максимальній швидкості (1000 об/х.) протягом $\tau = (3...5) \times 60$ с до стійких піків; розчинення желатину (гідромодуль 1:7(10)) та наступне його охолодження до температури 20...22 °С; поєднання суміші кисломолочного сиру з розчином желатину; поєднання утвореної суміші зі збитими вершками
	Для чизкейку готового (підсистема В3)	Подрібнення печива до стану часточок діаметром $d = (2...4) \times 10^{-3}$ м; поєднання грубого порошку печива з топлою емульсією вершкового масла; формування напівфабрикату у формі (викладення суміші печива, вирівнювання, викладення сирної основи); охолодження напівфабрикату чизкейку за умов: $T = 10...14$ °С; $\tau = 4 \times 3600$ с
Оформлення і реалізація чизкейку класичного — підсистема А	Чизкейк	Звільнення від форми чизкейку, декорування, при необхідності (для роздрібної торгівлі) порціонування; реалізація

Після охолодження напівфабрикати використовують для подальших операцій, а вже готову продукцію пакують та відправляють на зберігання, або реалізують безпосередньо в закладі під час приготування інших страв.

Основні етапи приготування: підготовка сировини (підсистема С), приготування напівфабрикатів (печива — підсистема В1, сирної основи — підсистема В2,

приготування напівфабрикату чизкейку — підсистема В3) та оформлення і реалізація чизкейку класичного (підсистема А).

Проаналізувавши блок-схему, процес виготовлення чизкейку можна поділити на такі основні етапи: приймання сировини, тимчасове зберігання, виробництво продукції, реалізація. На кожному з цих етапів на безпечність продукції можуть впливати різні фактори, аналіз і моніторинг яких ми провели нижче.

Процес приймання сировини є досить важливим етапом, тому кожному підприємству слід ретельно поставитися до вибору постачальників, які є офіційними операторами ринку і перелік яких повинен бути затверджений наказом по підприємству.

Уся сировина, необхідна для виробництва чизкейків, відноситься до декількох груп продукції: борошно та бакалійні товари, молочно-жирова продукція та свіжі фрукти, плоди і ягоди. Саме тому ми оцінили кожную групу загальною, адже існуючі ризики та вимоги до безпеки інгредієнтів певної групи однотипні.

У кожному закладі ресторанного господарства необхідним є проведення власного аналізу небезпечних факторів відповідно до його потужності та рівня технологічного виробництва (Русавська, & Чеботасва, 2020). Передусім розроблено список небезпек, характерних для продукції нашого підприємства, та визначено їх характеристику. Складовими характеристиками небезпек, зокрема небезпечних факторів, стало бальне визначення ймовірності виникнення і вагомості фактора в ході виробництва та ступеня ризику. Для більш точного визначення характеристик було використано ряд питань, які дають змогу ідентифікувати ризики. Наприклад:

1. Чи містить продукт складники, які можуть становити мікробіологічні, хімічні чи фізичні ризики?
2. Чи можливі в продукті виживання або розмноження патогенних організмів та/або утворення токсинів у сирому стані в ході переробки?
3. Чи наявні на ринку подібні продукти? Як вони показали себе з точки зору безпеки?
4. Чи існує можливість забруднення продукту небезпечними речовинами?
5. Чи наявні металодетектори, термометри, просіювачі, фільтри, екрани та інші засоби для забезпечення безпеки споживача?

Наступним етапом було визначення заходів контролю, які варто застосувати протягом виробництва на певних його етапах з метою уникнення, попередження й усунення небезпечних факторів.

Провівши аналіз небезпечних факторів упродовж усього процесу виробництва, було визначено, які саме з цих факторів загрожують безпечності продукції. Здійснивши ідентифікацію небезпечних факторів на етапі приймання сировини, можна стверджувати, що можливі небезпеки є малоймовірними, вагомими та мають середню суттєвість.

Ідентифікувавши небезпечні фактори на етапі проміжного зберігання сировини, слід зазначити, що можливі небезпеки є ймовірними, вагомими та мають високу суттєвість. Для уникнення небезпечних впливів на продукт було складено перелік необхідних запобіжних дій: слід ретельно ставитися до контролю умов і

термінів зберігання, стежити за санітарним станом приміщення, проводити прибирання за графіком, в разі необхідності проводити дератизацію та навчати персонал.

Ідентифікація небезпечних факторів під час виробництва продукту є найбільш важливою, оскільки в більшості випадків небезпечні фактори виникають при порушенні дотримання технологічних умов.

У результаті аналізу було виявлено, що найбільш імовірні і вагомі небезпечні фактори виникають під час термічної обробки й охолодження. Для уникнення небезпечних впливів на продукт було складено перелік необхідних запобіжних дій: дотримуватися термінів і температурних режимів під час технологічного процесу, слідкувати за санітарним станом приміщень, обладнання, інвентарю та за технічним станом обладнання, вимагати в персоналу дотримання вимог особистої гігієни.

Оскільки небезпечні фактори виникають і діють на продукцію не лише безпосередньо під час виробничого процесу (при прийманні сировини, неправильному її зберіганні, порушенні технологічного процесу), а й можуть мати зовнішній характер і виникати внаслідок недотримання санітарно-гігієнічного стану виробництва, то було проведено аналіз факторів санітарно-гігієнічного стану персоналу.

З огляду на пандемію COVID-19 і повномасштабну війну в Україні, збільшилося число ймовірних небезпечних біологічних факторів, а отже, посилилися заходи контролю над санітарним станом приміщень і дотриманням персоналу маскового режиму.

При описі системи моніторингу санітарно-гігієнічних умов виробництва та дотримання особистої гігієни працівників ми встановили, що біологічні, хімічні та фізичні фактори, які можуть впливати на безпеку продукції під час її виробництва, мають середню вагомість та ймовірність і є суттєвими.

У ході аналізу визначено, що велику і важливу роль для підтримання безпечності продукції відіграє персонал закладу, що взаємодіє з продуктами виробництва (кухарі), з напівфабрикатами (кухарі) та з готовою продукцією (кухарі, персонал обслуговування). Тож для запобігання небезпечним факторам на всіх етапах виробництва було визначено запобіжні дії, а також прописані програми-передумови (табл. 3).

Ідентифікація критичних контрольних точок заснована на логічному підході. У результаті використання алгоритму «Дерево прийняття рішень» ми встановили, що на певних етапах наявні контрольні критичні точки, а всі інші небезпечні фактори можна нівелювати, дотримуючись програм-передумов (табл. 3).

Усього за період виробництва продукції встановлено чотири критичних точки контролю.

З'ясовано, що існуюча програма-передумова № 6 «Здоров'я та гігієна персоналу» не забезпечує необхідний контроль за дотриманням карантинних вимог, тому продукція схильна до біологічних заражень, отже, цей етап ми ідентифікуємо як критичну контрольну точку № 5. Безпека решти етапів забезпечується дотриманням вищезазначених програм-передумов.

Таблиця 3. Перелік програм-передумов, що застосовуються для запобіжних дій небезпечних факторів

Назва програми-передумови	Перелік запобіжних дій при використанні програми
ПП-1 Програма-передумова системи НАССР щодо належного планування виробничих, допоміжних і побутових приміщень	Розміщення ресторану при виробництві чизкейку, його виробничих, допоміжних і побутових приміщень, технологічного обладнання, відповідають технологічним процесам, асортименту продукції і ризиків, пов'язаних із цим. Приміщення сплановано таким чином, щоб забезпечити можливість проведення ремонтних робіт, прибирання, миття й дезінфекції. Шляхом належного планування та організації потоків руху харчових продуктів, допоміжних матеріалів, предметів і матеріалів, що контактують із кінцевою продукцією, забезпечено зменшення ризику перехресного забруднення. Здійснене зонування виробничих і побутових приміщень на «брудну», «помірно забруднену» та «чисту» зони. Залежно від виду зони на підприємстві встановлені правила гігієни: відповідні методи прибирання, обмеження переміщення між зонами персоналу, тари та інших матеріалів з метою уникнення ризиків забруднення. Для зменшення можливості забруднення продуктів під час виробництва на підприємстві складено маршрути руху співробітників і переносного обладнання. Рух персоналу і відвідувачів територією закладу та його виробничими приміщеннями позначений у зоні виробництва й пакування та здійснюється в напрямі прийому сировини і зовнішнього устаткування
ПП-1 Програма-передумова системи НАССР щодо належного планування виробничих, допоміжних і побутових приміщень	Зонування на підприємстві є кольоровим: чиста зона — зелений колір, помірно забруднена — жовтий, брудна — червона. Інвентар, який використовується для прибирання цих зон, посуд, прилади тощо також мають кольорове кодування відповідно до позначеної кольорової зони
ПП-2 Програма-передумова системи НАССР щодо стану приміщень, обладнання, проведення ремонтних робіт, технічного обслуговування обладнання, калібрування, а також заходів щодо захисту харчових продуктів від забруднення та сторонніх домішок	Територія закладу облаштована так, щоб максимально запобігати проникненню шкідників, перехресному забрудненню кінцевої харчової продукції, сприяти видаленню стічних вод. Виробничі цехи та складські приміщення підприємства утримуються в належному стані. Стіни та підлога спроектовані та побудовані так, щоб запобігати накопиченню бруду, розвитку плісняви й утворенню конденсату, полегшити їх прибирання, миття та дезінфекцію. Поверхні стін та підлоги виготовлені з водостійких матеріалів
ПП-2 Програма-передумова системи НАССР щодо стану приміщень, обладнання, проведення ремонтних робіт, технічного обслуговування обладнання, калібрування, а також заходів щодо захисту харчових продуктів від забруднення та сторонніх домішок	Підлога відповідає вимогам виробництва: механічним навантаженням, температурним режимам, обробці мийними засобами, сприяє видаленню вологи (відсутні вибоїни та наявні стоки води). Стеля й підвісні елементи (трубопроводи, кабелі, лампи) змонтовані так, щоб мінімізувати накопичення бруду, відшарування фарби, утворення конденсату та розвитку плісняви. Вони легко прибираються та запобігають забрудненню харчових продуктів

ПП-3 Програма-передумова системи НАССР щодо планування та стану комунікацій: вентиляції, водопроводів, електро- та газопостачання, освітлення тощо	Комунікації ЗРГ підтримуються у відповідному стані. Наявні план каналізаційних мереж; план вентиляції; план електромережі; план газопостачання. У виробничих зонах забезпечене належне освітлення
ПП-4 Програма-передумова системи НАССР щодо безпечності води, льоду, пари, допоміжних матеріалів для переробки, (обробки) харчових продуктів, предметів та матеріалів, що контактують із харчовими продуктами	На підприємстві чітко визначено джерела водопостачання (водопровідна мережа); спосіб використання води та неможливість перехресного забруднення через контактні поверхні
ПП-6 Програма-передумова щодо поводження з відходами виробництва та сміттям, їх збору та видалення	Складені графіки і способи вивезення відходів із приміщень, у яких здійснюється поводження з харчовими продуктами, з метою уникнення їх накопичення. Смітєві баки потрібно розподіляти за категоріями відходів: для органічних і харчових відходів; для паперу та картону; для полімерних матеріалів; для скла; для небезпечних відходів
ПП-7 Програма-передумова щодо контролю за шкідниками, визначення виду, запобігання їх появи, засобів профілактики та боротьби	Передбачені заходи щодо запобігання проникненню шкідників на територію. Всі засоби боротьби зі шкідниками мають маркування та піддаються регулярній перевірці
ПП-8 Програма-передумова щодо безпечного зберігання та використання токсичних сполук і речовин	Визначає, що всі засоби та реактиви мають відповідне маркування. Їх зберігають у приміщеннях з обмеженим доступом
ПП-9 Програма-передумова щодо специфікації та контролю постачальників	Регламентує процедури вхідного контролю сировини та допоміжних матеріалів, які використовують для виробництва. Такі процедури включають методи контролю та моніторингу, осіб, відповідальних за проведення досліджень, дії у випадку відхилень та осіб, відповідальних за прийняття подальших рішень
ПП-10 Програма-передумова системи НАССР щодо маркування харчових продуктів та поінформованості споживачів	Передбачає належну ідентифікацію кожної партії харчової продукції.
ПП-11 Програма-передумова системи НАССР щодо зберігання та транспортування	Описує вимоги до належних умов для сировини, кінцевої продукції, допоміжних матеріалів тощо. Склади підприємства спроектовані таким чином, щоб не допустити забруднення під час зберігання, прибирання, миття та за необхідності проведення дезінфекції, запобігати проникненню шкідників
ПП-12 Програма-передумова контролю ризиків, які пов'язані із металом, пластиком, камінням, розбитим склом та деревиною	Ідентифіковано потенціальну контамінацію кінцевої харчової продукції, використання деревини заборонене

При розробці системи моніторингу виробничого середовища було визначено, якими небезпечними факторами можливо управляти за допомогою програм-передумов, а якими — власне планом НАССР.

Тож для узагальнення отриманих результатів створено табл. 4, куди заносяться попередньо ідентифіковані небезпечні фактори, визначаються граничні показники та встановлюється система контролю для кожної ККТ.

Для запобігання виникненню небезпечних факторів, пов'язаних з процесом виробництва, умовами виробничого середовища й утилізацією відходів підприємства під час виробництва чизкейків розробляються коригувальні дії.

Таблиця 4. Результати аналізу та виявлення небезпечних факторів, ККТ та встановлення їх граничних меж

Етап	Небезпечний фактор	№ ККТ	Граничне значення	Процес контролю
Випікання (н/ф пісочного тіста)	МАФАМ, БГКП (коліформи), патогенні мікроорганізми, а також бактерії роду Сальмонела, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , плісняві гриби, дріжджі	ККТ 1	$t=170...180^{\circ}\text{C}$, $\tau=(10...12)\times 60\text{ c}$	Контроль умов випікання персоналом
Охолодження (н/ф печива)	МАФАМ, БГКП (коліформи), патогенні мікроорганізми, а також бактерії роду Сальмонела, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , плісняві гриби, дріжджі	ККТ 2	$\tau=(50...60)\times 60\text{ c}$ t всередині продукту $17...20^{\circ}\text{C}$	Періодичний контроль умов процесу охолодження персоналом
Охолодження (чизкейку)	МАФАМ, БГКП (коліформи), патогенні мікроорганізми, а також бактерії роду Сальмонела, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> плісняві гриби, дріжджі	ККТ 3	$\tau=240\times 60\text{ c}$ t всередині продукту $7...10^{\circ}\text{C}$	Періодичний контроль умов процесу охолодження персоналом
Тимчасове зберігання	МАФАМ, БГКП, патог. мікрофлора, бактерії роду Сальмонела, Стафілококів, <i>Listeria monocytogenes</i> , плісняві гриби, дріжджі	ККТ 4	$W=75\%$, $t=+2...6^{\circ}\text{C}$ $\tau=72$ години	Періодичний контроль умов зберігання персоналом
Всі етапи виробництва, особливо тимчасове зберігання	При недотриманні персоналом правил особистої гігієни, карантинного режиму може відбуватися забруднення сировини/продукції, зокрема вірусом COVID-19	ККТ 5	Заміна масок та рукавичок кожні 3 год; Наявність медичних книжок, сертифікатів про вакцинацію або негативних ПЛР тестів; наявність всіх щеплень	Періодичний контроль за дотримання персоналом карантинних вимог

Згідно з літературними джерелами, комфортна температура розвитку деяких мікроорганізмів у продуктах дорівнює 35...40 °С, а температура для знищення — вище 100 °С, що має триматись протягом 10 хв (Bergdoll, 1989).

При визначенні граничних значень ми керувались вище згаданими показниками. Випікання печива має виконуватись за вказаними граничними межами технологічних параметрів, адже за такої температури небезпечний фактор буде ліквідовано. Для запобігання захворюванням, що спричиняє бактерія Сальмонела, слід прогрівати їжу при 100 °С протягом 5 хв, але за рекомендаціями мінімальний термін теплової обробки має сягати не менше хвилини.

Охолодження печива здійснюється за прописаних у табл. 4 граничних меж технологічних параметрів для запобігання підвищенню температури сирної маси в ході наступної технологічної операції, задля уникнення при можливому проміжному зберіганні утворення конденсату, що є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів.

Граничні межі для охолодження чизкейку підібрані на основі даних про життєвий цикл мікроорганізмів у продуктах (температура для їх розвитку). Тож при зазначеній температурі розвиток мікроорганізмів неможливий.

Згідно з літературними джерелами підібрано норми проміжного зберігання для чизкейку. Відомо, що при відносно середній вологості повітря і низьких температур терміни зберігання коливаються.

Наступним етапом розробки плану НАССР є розробка моніторингу критичних точок контролю і встановлення корегувальних дій (план управління безпечністю) для попередньо ідентифікованих ККТ. Складається план НАССР, у нього заносяться попередньо визначені ККТ, параметри моніторингу (як проводиться, частота, відповідальна особа і висновок по моніторингу) та коригувальні дії. Детальний опис вищезазначеного наведено в табл. 5.

У ході розроблення плану управління безпечністю продукції за визначеними раніше ККТ виявлено етап виробництва, небезпечний фактор, номер ККТ, гранична межа для критичної точки контролю, процедура моніторингу, коригувальна дія та відповідальна особа.

Таблиця 5. План управління безпечністю чизкейку класичного

№ ККТ	Моніторинг				Коригувальна дія
	Процес моніторингу	Частота проведення	ВО	Протокол	
ККТ 1	Контроль часу, температури випікання, температури всередині виробу	При кожному виготовленні продукції	Старший кухар	Журнал контролю технологічних режимів	1. Продовжувати процесу приготування їжі до тих пір, поки мета не буде досягнута 2. Розглянути, чи є продукти безпечними у використанні 3. Утилізація небезпечних харчових продуктів 4. Огляд навчання персоналу

ККТ 2	Регулювання часу охолодження та $t^{\circ}\text{C}$	При кожному виготовленні продукції	Старший кухар	Журнал контролю технологічних режимів	1. Продовжувати процес приготування їжі до тих пір, поки мета не буде досягнута 2. Розглянути, чи є продукти безпечними у використанні 3. Утилізація небезпечних харчових продуктів 4. Огляд навчання персоналу
ККТ 3	Регулювання часу охолодження до досягнення необхідної температури всередині виробу	При кожному виготовленні продукції	Старший кухар	Журнал контролю технологічних режимів	1. Продовжувати процесу приготування їжі до тих пір, поки мета не буде досягнута 2. Розглянути, чи є продукти безпечними у використанні 3. Утилізація небезпечних харчових продуктів 4. Огляд навчання персоналу
ККТ 4	Регулювання температури, вологості та терміну зберігання продукції та документує отримані показники	Щодня	Комірник	Журнал контролю умов зберігання; Журнал списання продукції	1. Контроль температури та вологості, терміну зберігання 2. Розглянути, безпечність продуктів у використанні 3. Утилізація небезпечних харчових продуктів
ККТ 5	Контроль процесу дотримання персоналом карантинних вимог	Кожні 3 години	Менеджер (завідувач) виробництва	Журнал заміни масок та рукавичок, Журнал фіксації стану здоров'я персоналу	1. Контроль температури тіла персоналу 2. Розглянути, чи є наявність симптомів хвороби 3. Відсторонення хворого персоналу від обов'язків

Наступним етапом розробки системи моніторингу безпечності продукції є процедура верифікації, внаслідок якої з'ясується оцінка ефективності системи НАССР на підприємстві. Основна мета перевірки полягає у визначенні достатнього рівня контролю над небезпечними чинниками, що пов'язані з харчовою продукцією (Русавська, & Чеботаєва, 2020).

Як відомо, валідація (підтвердження) плану НАССР є елементом верифікації (перевірки) і передбачає отримання доказів того, що система функціонує правильно, забезпечуючи безпеку харчової продукції. З'ясування правильності прийняття

рішень під час перевірки плану HACCP та перевірка продуманості й ефективності власне самого плану HACCP і є метою валідації.

Одним із останніх етапів системи моніторингу була розробка всієї необхідної документації для забезпечення записів контролю.

У ході цього етапу було знайдено перелік потрібних журналів контролю безпеки продукції в закладах ресторанного господарства. Крім вищезгаданих журналів (табл. 5), до переліку увійшли журнал обліку випадків поставки недоброякісної продукції (сировини), журнал обліку робіт з очищення та дезінфекції вентиляції, журнал прибирання приміщень, журнал навчання співробітників програмі безпеки харчування на основі принципів HACCP, журнал здоров'я, журнал технічного обслуговування і ремонту обладнання, журнал ушкоджень під час приготування їжі тощо.

Оскільки ідентифіковано ККТ і визначено їх граничні межі, то для записів контролю параметрів цих точок розроблено бланки записів. До таких бланків належать бланк скарги на постачальника, бланк обліку температури зберігання, бланк щомісячної перевірки термометрів, бланк обліку приготування їжі, бланк обліку температури продуктів, бланк обліку температури охолоджувальної продукції, бланк розкладу прибирання і чистки.

У бланках, що відносяться до ходу технологічних параметрів, записано загальні вимоги або параметри технологічного процесу, вказано критичні межі та прописані коригувальні дії, а також є табличне поле для заповнення результатів контролю. Тож методи документування всіх процедур і ведення записів, пов'язаних із застосуванням цього плану управління безпечністю і контролю якості продукції, розроблено.

При дотриманні всіх розроблених дій, вчасному оновленню інформації і правильному веденні документації дієвість системи буде максимальною.

Висновки

У ході виконання дослідження розроблено систему моніторингу безпеки виробництва чизкейку холодного способу приготування для закладу ресторанного господарства на основі принципів HACCP.

Здійснено аналіз технології та організації виробництва чизкейків, зокрема чизкейку класичного холодного способу приготування, та встановлено вимоги щодо її безпеки.

Розроблено систему моніторингу на всіх етапах виробництва чизкейку і встановлено, що на етапі приймання сировини, тимчасового зберігання сировини, випікання, охолодження печива, а потім охолодження самого напівфабрикату чизкейку та тимчасового зберігання продукту ідентифіковано критичні точки контролю (ККТ). Також розроблено систему моніторингу санітарно-гігієнічного стану і встановлено критичну точку контролю, яка стосується забезпечення дотримання карантинних вимог персоналом на всіх етапах виробництва продукту. Остання з розроблених ККТ забезпечує необхідний контроль за дотриманням карантинних вимог, попереджує схильність продукції до біологічних заражень, зокрема вірусу COVID-19.

На основі розроблених заходів визначено процедури моніторингу для кожної ККТ, а також коригувальні дії.

Розроблену систему моніторингу безпечності чизкейку впроваджено у двох закладах. В одному із закладів було застосовано елементи розробленого плану, в іншому — всю систему моніторингу. За результатами впровадження були складені акти про впровадження результатів науково-дослідницької роботи про розробку моніторингу безпечності.

Згідно з актом соціальний ефект від впровадження плану HACCP складається із забезпечення високої якості і безпечності виробництва кулінарної продукції і приваблення споживачів. Економічний ефект проявляється в забезпеченні рентабельності виробництва при збільшені обсягу реалізації чизкейку через торговельні зали закладу і роздрібну торгівлю.

Отже, розроблена система моніторингу безпечності та якості виробництва чизкейку є дієвою та ефективною і може застосовуватися при впровадженні системи HACCP у закладах ресторанного господарства.

Після впровадження системи моніторингу не проведено інспекторської перевірки та аудиту, тож закладам ресторанного господарства рекомендовано провести аудит впровадженої системи моніторингу безпечності, щоб визначити її ефективність. Також варто проаналізувати отримані результати аудиторської перевірки, щоб пересвідчитись у правильності визначення і розроблення системи, розглянути шляхи оптимізації технологічних процесів і системи моніторингу в разі потреби.

Література

- Колеснікова, М. Б., Гринченко, О. О., Юрченко, С. Л., Андрєєва, С. С., & Черемська, Т. В. (2022). Системне забезпечення харчової безпечності продукції закладів ресторанного господарства. *Таврійський науковий вісник*, 4, 64—73.
- Русавська, В. А., Чеботаєва Т. С. (2020). *Застосування принципів системи HACCP в удосконаленні системи управління якістю продукції та послуг ресторанних закладів*. Тези доповідей VII Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Київ: Вид. центр КНУКіМ, 57—60.
- Bergdoll M. S. (1989) *Staphylococcus aureus*. In: Doyle MP, ed. Bacterial foodborne pathogens. New York: MarcelDekker.
- Bukhari, M. A., Banasser, T. M., El-Bali, M., Bulkhi, R. A., Qamash, R. A., Trenganno, A., Bahawareth, F. (2021). Assessment of microbiological quality of food preparation process in some restaurants of Makkah city. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5993—5997.
- Chapman, B. J., Linton, R. H., McSwane, D. Z. (2021). Food safety postprocessing: Transportation, supermarkets, and restaurants. *Foodborne Infections and Intoxications, Academic Press*, 31, 523—544.
- Doneva-Sapceska, D., Alchevska, S. (2017). Analysis of effectiveness of HACCP system in small restaurants in Skopje. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 18, 11—18.
- Dzwolak, W. (2017) Documenting HACCP in a small restaurant — a practical approach. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 9(2), 187—194.
- Hawking, A. D., Arnold, G., Jenson, I., Newton, K. Sutherland, P. (Eds.) (1997) (5). *Staphylococcus aureus and staphylococcal enterotoxins in foodborne microorganisms that pose a public health risk*. Australian Research Institute of Food Products and Technologies of Their Production, Australia.
- Gupta, C., Prakash, D. (2019). Safety of Fresh Fruits and Vegetables. *Food Safety and Human Health, Academic Press*, 10, 249—283.
- Kielesińska, A. (2018). Food Quality And Safety In The Brewing Industry. *Production Engineering Archives*, 20, 16—19.
- Kjeldgaard, K. J., Stormly, M. L., Leisner, J. J. (2010). Relation between microbial levels of ready-to-eat foods and the monitoring of compliance with HACCP-based own control programs in small Danish food outlets. *Food Control*, 21(11), 1453—1457.

Mathison, B. A., Pritt, B.S. (2022). Parasites of the Gastrointestinal Tract. *Encyclopedia of Infection and Immunity*, Elsevier, 136—203.

Nessrien, M. N. Yasin, Samah, M. Shalaby. (2013). Physiochemical and sensory properties of functional low fat cheesecake manufactured using cottage cheese. *Ann. Agric. Sci.*, 58(1), 61—67.

Newell, D., Koopmans, M., Verhoef, L., Duizer, E., Aidara-Kane, A., Sprong, H., Kruse, H. (2010). Food-borne diseases-The challenges of 20 years ago still persist while new ones continue to emerge. *International journal of food microbiology*, 139, 3—15.

Pal, M. Mahendra, R. (2015). Sanitation in Food Establishment, 1st. Ed. *Lam-bert Academic Publishing*.

Petrizzelli, A., Blasi, G., Masini, L., Calza, L., Duranti, A., Santarelli, S., Tonucci, F. (2010). Occurrence of *Listeria monocytogenes* in salami manufactured in the Marche Region (central Italy). *Journal of Veterinary Medical Science*, 72, 499—502.

Rosak-Szyrocka, J., Begovic Blazevic, L. (2018). Food Safety in Quality. Mark Aspect, System Safety: Human-Technical Facility — Environment.

IMPROVING THE TECHNOLOGY FOR PRODUCING FATTY ACIDS FROM OIL REFINERY WASTE

I. Radziewska, O. Melnyk, A. Marynin

National University of Food Technologies

Key words:

Fatty production wastes
Hydrophus
Sunflower oil
Fatty acids

Article history:

Received 10.05.2023
Received in revised form
25.05.2023
Accepted 08.06.2023

Corresponding author:

O. Melnyk

E-mail:

ksaname@gmail.com

Citation: Радзівська І. Г., Мельник О. П., Маринін А. І (2023). Удосконалення технології одержання жирних кислот із відходів олійно-рафінаційного виробництва. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 110—118.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-10

ABSTRACT

One of the by-products of the oil and fat industry is a hydration sludge (hydrophus) formed during the hydration stage of the refined vegetable oils production process. Disposal of hydrophus as municipal waste causes environmental pollution. The hydrophus contains 2...10% phospholipids, 30...45% oil and 40...60% water. This composition necessitates its rapid processing. It is advisable to use hydrofuse to produce fatty acids, which are a valuable raw material for many industries.

The fatty acid production technology involves heating the hydrophus sample to 110...120°C, adding acid at 60°C to pH of 2...3, and then mixing it. The process time depends on the consistency and total fat content of the raw material and ranges from 2 to 8 hours. The process is carried out until the hydrophase is completely decomposed, which is monitored visually by changes in consistency. According to the moisture content of the obtained fatty acids at the level of 1.85% with a yield of 52%, the superiority of the method of hydrolysis with sulfuric acid with bubbling with superheated steam was established.

The following hydrophus treatments were tested: sulfuric acid solution with a concentration of 40%; concentrated nitric acid; concentrated sulfuric acid; concentrated sulfuric acid with bubbling with superheated water vapor. Technological quality indicators of the fatty produced acids differed significantly depending on the method of splitting.

When using sulfuric acid for the splitting, the process was carried out at a medium pH of 2...3 with bubbling with superheated water vapor, the quality of the fatty acids obtained fully met the requirements of DSTU 4860:2006.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЖИРНИХ КИСЛОТ З ВІДХОДІВ ОЛІЙНО-РАФІНАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

І. Г. Радзівєвська, О. П. Мельник, А. І. Маринін

Національний університет харчових технологій

Одним із побічних продуктів олійно-жирової промисловості є гідратаційний осад (гідрофуз), що утворюється на етапі гідратації при виробництві рафінованих рослинних олій. Утилізація гідрофузів як побутових відходів призводить до забруднення навколишнього середовища. Гідрофуз містить 2...10% фосфоліпідів, олії — 30...45%, води — 40...60%. Такий склад обумовлює необхідність його швидкої переробки. Доцільно використовувати гідрофуз для отримання жирних кислот, які є цінною сировиною для багатьох галузей промисловості.

У статті розроблено технологію отримання жирних кислот, яка передбачає нагрівання досліджуваного зразка гідрофузу до температури 110...120 °С, внесення за температури 60 °С кислоти до значення рН 2...3 і подальшого його перемішування. Процес розщеплення проводили до повного розкладання гідрофузу, який контролювали візуально, за зміною консистенції. Тривалість процесу залежала від консистенції та вмісту загального жиру в сировині і становила від 2 до 8 годин.

Апробовано обробку гідрофузу розчином сульфатної кислоти концентрацією 40%, концентрованою нітратною кислотою, концентрованою сульфатною кислотою, концентрованою сульфатною кислотою з барботуванням перегрітою водяною парою. Технологічні показники якості одержаних жирних кислот помітно відрізнялись залежно від застосованого методу розщеплення. За показником вологості одержаних жирних кислот на рівні 1,85% при виході 52% встановлено перевагу методу гідролізу з сульфатною кислотою з барботуванням перегрітою водяною парою.

При застосуванні для розщеплення сульфатної кислоти, перебігу процесу за рН середовища 2...3 з барботуванням перегрітою водяною парою якість одержаних жирних кислот повністю відповідає вимогам ДСТУ 4860:2006.

Ключові слова: відходи жирових виробництв, гідрофуз, соняшникова олія, жирні кислоти.

Постановка проблеми. Питанням раціонального використання вторинних продуктів олійно-жирової промисловості приділяється велика увага (Lavenburg, Rosentrater, & Jung, 2021; Weber, 2004; Sytnik та ін., 2021; Dumont & Narine, 2007; Гуцол Н., Гуцол А., Мисенко, & Гончарук, 2021). З нарощуванням потужностей олієдобувної галузі проблема відходів виробництва поглиблюється і виходить на одне з перших місць. Зокрема, до побічних продуктів належить гідратаційний осад (гідрофуз), що утворюється на етапі гідратації при виробництві рафінованих рослинних олій (Weber, 2004).

Гідратація — це процес видалення із сирих рослинних олій фосфоліпідів — речовин ліпідної природи, вміст яких в олії становить 0,2...4,5% (Гладкий, 2002).

В основі методу гідратації лежить здатність фосфоліпідів приєднувати воду з утворенням нерозчинних в олії сполук. При проведенні гідратації безперервним способом до сирової олії з температурою 45...50 °C додають воду в змішувачах ежекторного типу. Потім зволожену олію подають до коагулятора, в якому при перемішуванні утворюється осад гідратованих фосфоліпідів. Олія відділяється від гідрофузу в безперервно працюючих відстійниках (Varzakas, & Tzia, 2016), після чого подається на висушування, а гідрофуз — на відвантаження.

Гідрофуз містить 2...10% фосфоліпідів, олії — 30...45%, води — 40...60%. Такий склад обумовлює необхідність його швидкої переробки або утилізації. Існує можливість використання жирових відходів з вмістом жиру 20...95% для одержання цінних жирних кислот. Жирні кислоти — це товарний продукт зі стабільним попитом та порівняно високою ціною. Їх застосовують у нативному вигляді або дистилують, також вони можуть служити сировиною для одержання біодизельного пального, поверхнево-активних речовин, мийних засобів, косметичних препаратів тощо (Sytnik та ін., 2021; Садик, & Демидов, 2012; Muanruksa, & Kaewkannetra, 2020). Однак нестабільність складу відходів, яка залежить не лише від методу рафінації, а й від тривалості їх зберігання до початку обробки становить значну проблему для виробників (Гладкий, 2002; Varzakas, & Tzia, 2016). Тому актуальним завданням сьогодення є пошук універсальних варіантів переробки відходів жирових виробництва, за допомогою яких можна одержати жирні кислоти стандартної якості (Soto, Velez, Hegel, Mabe, & Pereda, 2013; Mostafa, Maher, & Abdelmoez, 2013; Laoretani, Fischer, & Iribarren, 2017; Beatrice, Brenna, Parmeggiani, Tessaro, & Tentori, 2021). Сировиною для виробництва жирних кислот за класичною технологією є соапсток, що утворюється під час лужної нейтралізації олії. Технологія обробки соапстоку включає його доомилення з подальшим розкладанням мила 96% сірчаною кислотою (Sytnik та ін., 2021). Проте таку технологію не завжди можна застосовувати для переробки гідрофузу.

Способи виділення сирих жирних кислот з відходів оліє-жирових виробництв поділяються на періодичні і безперервні та відрізняються ступенем відділення нежирових домішок й організацією технологічного процесу.

Періодичний спосіб включає доомилення нейтрального жиру з подальшою обробкою мильної маси сухим натрій хлоридом і розкладанням мила. При цьому з підмільним лугом видаляється лише близько половини нежирових речовин і утворюється великий об'єм забруднених стічних вод, що створює проблеми при їх подальшій утилізації.

Нині періодичний метод мало використовуються. Існуюча технологія виділення жирних кислот з омилених соапстоків є низкою послідовних стадій: додавання до соапстоку при перемішуванні сульфатної кислоти до pH 2,5...3,0, відділення кислих вод, промивання жирних кислот водою від залишків сульфатної кислоти і натрій сульфату, дистилування жирних кислот (за потреби) (Varzakas, & Tzia, 2016).

Очевидними є такі недоліки існуючої технології виділення сирих жирних кислот, як значні перевитрати сульфатної кислоти та соди, а також велика кількість відходів, що не утилізуються. Удосконалення цієї технології передбачає три напрямки: підготовка сировини, що полягає в очищенні від домішкових сполук; модернізація апаратурного оформлення процесу та зменшення шкідливих викидів

у навколишнє середовище (Dumont, & Narine, 2007; Гладкий, 2002; Laoretani, Fischer, & Iribarren, 2017; Latebo, Bekele, Abeto, & Kasule, 2021).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно перед розкладанням нейтральний жир у соапстоку домиляють лугом. Автори (Dumont, & Narine, 2007; Мольченко, Демидов, & Ведь, 2014) з метою одночасного руйнування домішок пропонують обробку соапстоку лугом при підвищених тиску і температурі. Це призводить до омилення не тільки гліцеридів, а й фосфоліпідів, руйнування супутніх домішок, унаслідок чого зменшується ймовірність утворення емульсії при подальшому розкладанні соапстоку сульфатною кислотою. З метою повної утилізації продуктів розкладання соапстоку і підвищення таким чином ступеня очищення стічних вод доомилення соапстоку може бути проведено за допомогою водного розчину $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Mostafa, Maher, & Abdelmoez, 2013).

Метод стадійного розкладання (Laoretani, Fischer, & Iribarren, 2017) заснований на утворенні кислих мил у процесі взаємодії мила із сульфатною кислотою. При цьому відбувається висолювання кислих мил сульфатом натрію, що утворюється в ході реакції. Перша стадія розкладання проводиться за pH 4—5. Одним із її продуктів є водний розчин низькомолекулярних водорозчинних кислот (ВРК) та їх солей. Остаточне розкладання мил ведуть при pH 1,5—3,0. За рахунок виведення з процесу солей ВРК досягається економія сірчаної кислоти та содопродуктів у кількості 4%.

Взаємодію сірчаної кислоти з соапстоком у безперервному режимі рекомендується здійснювати таким чином, щоб у реакції в певний момент часу брала участь невелика кількість реагуючих речовин. Ця умова досягається за допомогою реакторів-турбулізаторів, глибина розкладання у яких становить 95—98% з одночасним зниженням витрат сірчаної кислоти. Існує можливість розкласти соапстоки з поділом фаз безпосередньо після їх отримання на саморозвантажувальних кислотостійких сепараторах Alfa-Laval (<https://www.alfalaval.ua/products/separation/centrifugal-separators/separators/>).

Основний вид стічних вод при виділенні жирних кислот із соапстоків — сульфатні води, близькі за своїм складом до сульфатних вод від виробництва синтетичних жирних кислот з окисненого парафіну. Усі відомі методи переробки сульфатних вод можна розділити на дві групи: методи електрохімічного розкладання сульфату натрію з отриманням сірчаної кислоти та лугу і методи виділення сульфату натрію зі стічних вод (Стабнікова, Красінко, & Іванов, 2002). Здійснити процес електрохімічного розкладання сульфату натрію на виробництві синтетичних жирних кислот не вдалося внаслідок високих вимог до якості водного розчину, що подається на електролітичне розкладання (Нестер, Корчик, & Баран, 2008).

З наведеного огляду літератури випливає, що удосконалення процесу виділення жирних кислот із жировмісних відходів стосується, головним чином, стадії підготовки сировини та утилізації відходів, а також апаратного оформлення процесу. Практично відсутні роботи, присвячені вивченню механізму розкладання, яке є основною стадією. Проте саме при розкладанні формується емульсія, що лімітує швидкість всього процесу виділення жирних кислот і негативно впливає на якість одержаних кислот.

Мета дослідження: одержати жирні кислоти стандартної якості методом розкладання жировмісних відходів гідратації рослинних олій без попереднього омилення.

Матеріали і методи. Сировиною для одержання жирних кислот слугував гідрофуз, одержаний при гідратації соняшникової олії безперервним методом від ТОВ «Катеринопільський елеватор».

Використано такі методи досліджень: визначення масової частки вологи — прискореним методом за температури 130 °С з висушуванням до постійної маси згідно з ISO 662:2004; визначення масової частки загального жиру — екстракцією етиловим ефіром із подальшою відгонкою розчинника згідно з ДСТУ 5033:2008; визначення вмісту нежирових домішок за вмістом нерозчинних у гексані речовин згідно з ДСТУ ISO 663–2003; визначення кислотного числа жирних кислот — титриметричним методом згідно з ДСТУ EN ISO 660:2019; визначення пероксидного числа — за стандартною методикою згідно з ДСТУ ISO 3960:2001; визначення глибини розщеплення жирів — шляхом розчинення жиру в суміші етилового ефіру зі спиртом (2:1) із подальшим титруванням жирних кислот водним розчином гідроксиду натрію згідно з ДСТУ 4860:2007.

Викладення основних результатів дослідження. Важливим етапом виробництва жирних кислот є аналіз вхідної сировини, оскільки склад сировини з різних партій може значно відрізнятись і впливати на кінцевий результат. Показники якості сировини, що застосовувалась в роботі, наведено в табл. 1. Нині в Україні відсутня нормативна документація, яка регламентувала б якість гідрофузу, незважаючи на те, що він є товарним продуктом. Таким чином, найбільш коректним є порівняння досліджуваного гідрофузу з олійним фузом, який утворюється в олії при зберіганні. Олійний фуз складається з фосфатидів, олії, води та домішок білкової природи і є найбільш близьким відходом, склад якого наближається до складу гідрофузу. Порівняння одержаних результатів проведено за ДСТУ 4535:2006 «Фуз олійний. Технічні умови».

Таблиця 1. Показники якості досліджуваного гідрофузу

Показники якості	Досліджуваний гідрофуз	Норма для фузу олійного згідно з ДСТУ 4535:2006
Колір	Світло-жовтий	Від світло-сірого до темно-коричневого
Запах	Властивий олії, без сторонніх запахів	Властивий олії, з якої його отримано, без сторонніх запахів
Консистенція за температури 20 °С	Суспензія	В'язка маса
Масова частка вологи та легких речовин, %	36,0±0,1	4,0
Масова частка загального жиру, %	58,0±0,2	93,0
Масова частка фосфоровмісних речовин у перерахунку на P ₂ O ₅ , %	2,9±0,5	6,0

Масова частка нежирових домішок, %	1,8±0,01	3,0
Кислотне число, мгКОН/г	5,0±0,1	Не визначають
Пероксидне число, ммоль $\frac{1}{2}$ O/ кг	4,0±0,1	Не визначають

Головними показниками, які суттєво впливають на вихід жирних кислот, є вміст загального жиру і вміст води. Згідно з одержаними даними, слід очікувати порівняно вищого виходу жирних кислот з олійного фузу, оскільки його жирність значно вища за жирність гідрофузу і становить 93,0 і 58,0% відповідно. Нежирові домішки відходів (3,0% у фузі олійному і 1,8% у гідрофузі) в процесі розщеплення переходять у кислу воду, однак їх високий вміст може уповільнювати процес (Varzakas, & Tzia, 2016). Ступінь псування відходів за величиною кислотного і пероксидного числа також впливає на передбачуваний вихід жирних кислот, однак ці величини для олійного фузу не контролюють.

В основі хімізму одержання жирних кислот з відходів жирових виробництв лежить реакція гідролізу. Основними умовами, необхідними для перебігу гідролізу, є безпосередній контакт з водою. Для прискорення перебігу реакції можуть бути залучені каталізатори — луги і кислоти. Зокрема, кислотний гідроліз використовують для виробництва жирних кислот. Кислоти викликають гідроліз у результаті атаки вуглеводню ацильної групи сильно нуклеофільним реагентом OH⁻, тому реакція необоротна. Основними факторами, що впливають на процес, є склад і структура ацилгліцеролів, гідромодуль вихідних речовин у реакції, температура і природа каталізатора.

Швидкість гідролізу підвищується зі зменшенням молекулярної маси кислот та з підвищенням температури, що пояснюється збільшенням розчинності жиру у воді. Використання органічних кислот дає змогу проводити гідроліз з великою швидкістю за температури 110...120 °C, тоді як при безреактивному способі необхідна температура 200...225 °C і тиск 2,0...2,5 МПа.

Застосована технологія отримання жирних кислот включає в себе нагрівання досліджуваного зразка гідрофузу до температури 110...120 °C, внесення при температурі 60 °C мінеральної кислоти до рівня pH 2...3 і подальшого його перемішування. Тривалість процесу залежить від консистенції і вмісту загального жиру в сировині і становить від 2 до 8 годин. Процес вели до повного розкладання гідрофузу, який контролюють візуально, за зміною консистенції. Після досягнення розщеплення нагрівання і барботажа (при його використанні) зупиняли. Продукти реакції відстоювали протягом 8...12 год для розділення фаз (Varzakas, & Tzia, 2016), після чого одержані жирні кислоти відділяли від кислих вод на центробіжному сепараторі, а при наявності чіткої межі поділу фаз — декантацією (рис. 1).

Апробовано такі технологічні прийоми:

- 1) обробка водним розчином сульфатної кислоти концентрацією 40%;
- 2) обробка концентрованою нітратною кислотою;
- 3) обробка концентрованою сульфатною кислотою;
- 4) обробка концентрованою сульфатною кислотою з барботуванням перегрітою водяною парою.



Рис. 1. Гідрофуз у процесі розщеплення та жирні кислоти, одержані з нього

Головними якісними показниками, що впливають на відпускну ціну товарних жирних кислот, є вміст води та летких речовин, вміст нерозчинних домішок і їх загальна жирність. Показники якості жирних кислот, одержаних при обробці гідрофузу згідно з апробованими технологічними прийомами, наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники жирних кислот

Контрольовані показники одержаних жирних кислот	Застосований технологічний прийом			
	1	2	3	4
Вміст води та летких речовин, %	3,25	4,35	2,50	1,85
Вміст нежирових домішок, %	1,00	1,23	0,80	0,50
Вміст загального жиру, %	96,0	95,0	97,0	97,0
Вихід жирних кислот, %	47,5	45,0	49,0	52,0

Встановлено, що технологічні показники якості одержаних жирних кислот помітно відрізняються залежно від застосованого методу розщеплення. З табл. 2 видно, що найнижчою вологістю при максимальному виході відзначаються жирні кислоти, одержані обробкою гідрофузу концентрованою сульфатною кислотою з барботуванням перегрітою водяною парою.

Товарні жирні кислоти, одержані за методом по варіанту 4, відповідають вимогам ДСТУ 4860:2006 «Кислоти жирні соапстоків світлих олій та модифікованих жирів» (табл. 3).

Таблиця 3. Органолептичні та фізико-хімічні показники жирних кислот

Назва показника	Характеристика кислот та норми		
	Характеристика жирних кислот, одержаних за розробленим методом	Норма для жирних кислот, одержаних із соапстоку без доомілювання згідно з ДСТУ 4860:2006	
		першого ґатунку	другого ґатунку
Колір за температури 20 °С	Коричневий	Коричневий	Темно-коричневий
Запах	Специфічний, властивий для жирних кислот	Специфічний для жирних кислот	

Масова частка вологи та летких речовин	1,85	3,0	7,0
Масова частка загального жиру, %, не менше ніж	97,0	97,0	75,0
Глибина розщеплення, % олеїнової кислоти, не менше ніж	51,0	55,0	45,0
Наявність мінеральних кислот	Не виявлено	Не дозволено	

Згідно з даними, наведеними в табл. 3, характеристики жирних кислот, одержаних розщепленням гідрофuzu, не поступаються нормам для жирних кислот з соапстоків і відповідають вимогам чинної нормативної документації. Отже, застосуванням гідролізу з сульфатною кислотою при розщепленні жировмісних відходів вдається одержати жирні кислоти стандартної якості.

Висновки

Встановлено принципову можливість розщеплення гідрофuzu, одержаного при гідратації соняшникової олії без проведення попереднього омилення. Вихід товарних жирних кислот залежить як від якості вихідної жировмісної сировини, так і від кислоти, що застосовується для розщеплення, і коливається від 45 до 52%. Показано, що при застосуванні для розщеплення сульфатної кислоти, перебігу процесу за рН середовища 2...3 з барботуванням перегрітою водяною парою, якість одержаних жирних кислот повністю відповідає вимогам ДСТУ 4860:2006.

Література

- Гладкий, Ф. Ф. (Ред.). (2002). *Хімія жирів*. Харків: НТУ «ХП».
- Гуцол, Н. В., Гуцол, А. В., Мисенко, О. О., Гончарук, В. В. (2021). Жиринокислотний склад вторинних продуктів олійно-жирового виробництва. *Корми і кормовиробництво*, 90, 125—133. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnnytstvo202090-11>.
- Мольченко, С. М., Демидов, І. М., Веєв, В. Є. (2014). Кінетика нейтралізації жирів водно-спиртовими розчинами карбонатів лужних металів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*, 46 (2), 207—209.
- Нестер, А. А., Корчик, Н. М., Баран, Б. А. (2008). *Стічні води підприємств та їх очищення*. Хмельницький: ХНУ.
- Садик, М. Ш., Демидов, І. Н. (2012). Получение жирнокислых эфиров низкомолекулярных спиртов с использованием соапстока. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 6/6 (60), 53—56.
- Стабнікова, О. В., Красінько, В. О., Іванов, В. М. (2002). Вплив заліза на анаеробну обробку білок- та сульфатовмісних стічних вод. *Наукові праці НУХТ*, 11, 35—37.
- Beatrice, C., Brenna, E., Parmeggiani, F., Tessaro, D., Tentori, F. (2021). Enzymatic Methods for the Manipulation and Valorization of Soapstock from Vegetable Oil Refining Processes. *Sustain. Chem*, 2(1), 74—91. <https://doi.org/10.3390/suschem2010006>.
- Dumont, M-J., Narine, S. S. (2007). Soapstock and deodorizer distillates from North American vegetable oils: Review on their characterization, extraction and utilization. *Food Research International*, 40(8), 957—974. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.06.006>.

Laoretani, D. S., Fischer, C. D., Iribarren, O. A. (2017). Selection among alternative processes for the disposal of soapstock. *Food and Bioproducts Processing*, 101, 177—183. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.10.015>

Latebo, S., Bekele, A., Abeto, T., Kasule, J. (2021). Optimization of transesterification process and characterization of biodiesel from soapstock using silica sulfuric acid as a heterogeneous solid acid catalyst. *Journal of Engg. Research*, 10, 1A, 78—100. <https://doi.org/10.36909/jer.12003>.

Lavenburg, V. M., Rosentrater, K. A., Jung, S. (2021). Extraction Methods of Oils and Phytochemicals from Seeds and Their Environmental and Economic Impacts. *Processes*, 9(10), 1839. <https://doi.org/10.3390/pr9101839>.

Mostafa, N. A., Maher, A., Abdelmoez, W. (2013). Production of mono-, di-, and triglycerides from waste fatty acids through esterification with glycerol. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 4, 900—90. <http://dx.doi.org/10.4236/abb.2013.49118>.

Muanruksa, P., Kaewkannetra, P. (2020). Combination of fatty acids extraction and enzymatic esterification for biodiesel production using sludge palm oil as a low-cost substrate. *Renewable Energy*, 146, 901—906. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.027>.

Soto, G., Velez, A., Hegel, P., Mabe, G., Pereda, S. (2013). Fatty acids recovery from vegetable oil wet sludge by supercritical alcoholysis. *The Journal of Supercritical Fluids*, 79, 62—66. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.01.003>.

Sytnik, N., Kunitsia, E., Mazaeva, V., Kalyna, V., Chernukha, A., Vazhynskyi, S., Yashchenko, O., Maliarov, M., Bogatov, O., Bolibrukh, B. (2021). Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(6(112)), 6—13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236984>.

Varzakas, T., Tzia, C. (Ed.). (2016). Handbook of Food Processing: Food Safety, Quality, and Manufacturing Processes. Taylor & Francis Group P. 650.

Weber, K. (2004). New concepts of environmental, protection in the production of fat Inform. *Int. News Fats, Oils and Relat. Mater.*, 4, 512—515.

THE INFLUENCE OF THE “SVIZHIST” IMPROVER ON THE RHEOLOGY PROPERTIES OF WHEAT DOUGH WITH BRAN

O. Bilyk, E. Khalikova, A. Hryshchenko, V. Kovbasa

National University of Food Technologies

I. Miceikiene

Head of Medical Clinics, Lithuania

Key words:

*Complex bakery improver
Wheat bran
Rheological properties of
dough*

Article history:

Received 17.05.2023

Received in revised form
31.05.2023

Accepted 09.06.2023

Corresponding author:

O. Bilyk

E-mail:

bilyklena@gmail.com

Citation: О. А. Білик,
А. М. Грищенко, Е. Ф. Ха-
лікова, В. М. Ковбаса,
І. Т. Міцейкене (2023).

Вплив поліпшувача «Сві-
жість» на реологічні влас-
тливості пшеничного тіста
з висівками. *Наукові праці
НУХТ*, 29(3), 119—127.

DOI: 10.24263/2225-2924-
2023-29-3-11

ABSTRACT

To improve the functional and nutritional properties of bakery products, it is advisable to use wheat bran. However, products with the addition of wheat bran have a smaller loaf volume and worse organoleptic indicators. The use of various technological measures contributes to the improvement of wheat bran products.

The use of complex baking improvers of directional action is popular. It is proposed to use the complex improver “Svizhist”, which contains beer powder (beer protein), phosphate concentrate, enzyme preparation of amylolytic action, carboxymethyl cellulose, ascorbic acid. Such an improver contributes to the delay of the aging process of products. Research on the elastic properties of the dough using the AlveoPC alveograph showed that the use of the bakery improver “Svizhist” in the dough of bakery products containing wheat bran increases the elasticity of the dough, compared to the control, and reduces the stretchability, which can be a prerequisite for extending the duration of dough kneading.

The results of research using Farinograph-AT showed that the addition of the “Svizhist” improver causes an increase in the water absorption capacity of the dough, an extension of the duration of its formation, stability and elasticity during the kneading process, which is a consequence of the synergistic effect of the components of the complex bakery improver “Svizhist”.

Thus, in order to increase the water absorption capacity of the dough with the “Svizhist” bakery improver, it is advisable to add a larger amount of water to the dough, which will be absorbed by the biopolymers of the flour and the components of the complex bakery improver. Increasing the elasticity of the dough is a prerequisite for extending the freshness of bakery products due to the formation of more disulfide bonds in the proteins, which will better retain moisture during the aging of the protein.

ВПЛИВ ПОЛІПШУВАЧА «СВІЖІСТЬ» НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПШЕНИЧНОГО ТІСТА З ВИСІВКАМИ

О. А. Білик, А. М. Грищенко, Е. Ф. Халікова, В. М. Ковбаса

Національний університет харчових технологій

І. Т. Мішейкене

Голова медичних клінік, Литва

Для поліпшення функціональних і поживних властивостей хлібобулочних виробів доцільно використовувати пшеничні висівки. Проте вироби з додаванням пшеничних висівок мають менший об'єм і гірші органолептичні показники. Застосування різноманітних технологічних заходів сприяє вдосконаленню виробів із пшеничними висівками.

Популярним методом є застосування комплексних хлібопекарських поліпшувачів спрямованої дії. Запропоновано використовувати комплексний поліпшувач «Свіжість», який містить пивний порошок (пивний білок), фосфатидний концентрат, ферментний препарат амілолітичної дії, карбоксиметилцелюлозу, аскорбінову кислоту. Такий поліпшувач сприяє уповільненню процесу черствіння продуктів. Дослідження пружних властивостей тіста за допомогою альвеографа показали, що використання хлібопекарського поліпшувача «Свіжість» у тісті хлібобулочних виробів із вмістом пшеничних висівок підвищує його еластичність, порівняно з контролем, і зменшує розтяжність, що може бути перешкодою для збільшення тривалості замішування тіста.

Результати досліджень на фаринографі показали, що додавання поліпшувача «Свіжість» зумовлює підвищення водопоглинальної здатності тіста, подовження тривалості його формування, стабільності та еластичності в процесі замішування, що є наслідком синергічної дії компонентів комплексного хлібопекарського поліпшувача.

Для підвищення водопоглинальної здатності тіста доцільно додавати більшу кількість води, яка буде поглинатися біополімерами борошна та компонентами комплексного хлібопекарського поліпшувача. Підвищення еластичності тіста є обов'язковою умовою подовження свіжості хлібобулочних виробів унаслідок утворення в білках більшої кількості дисульфідних зв'язків, які краще утримують вологу.

Ключові слова: комплексний хлібопекарський поліпшувач, висівки пшеничні, реологічні властивості тіста.

Постановка проблеми. Для покращання функціональних і поживних властивостей хлібобулочних виробів доцільно використовувати пшеничні висівки (Cingöz, Akpınar, & Sayaslan, 2023). Пшеничні висівки складаються приблизно з 30% целюлози, 25% геміцелюлози, 8% лігніну, 3...8% мінеральних речовин, 3...4% жиру, містять вітаміни групи В і Е, а також різні фенольні кислоти, включаючи ферулову, ванілінову, кумаринову, кавову та хлорогенову кислоти (Cherno, Gural, & Naidonov, 2021; Katileviciute, Plakys, Budreviciute, Onder, Damiat, & Kodzius, 2019).

Геміцелюлоза становить приблизно 20...35% лігноцелюлозної біомаси і є другим за поширеністю полісахаридом у природі. Це складний полісахарид, що

містить глюкозу, ксилозу, маннозу, галактозу, арабінозу, глюкоуронову кислоту в різних пропорціях залежно від джерела. Існують дві фракції геміцелюлози: водорозчинна фракція, що впливає на її в'язкість, і нерозчинна у воді фракція, яка впливає на її здатність зв'язувати воду (Ling-Zhi, Ming-Guo, Xing-Xiang, Sun-Eun, & Chuanling, 2021). Пшеничні висівки містять майже 5% водорозчинної фракції геміцелюлоз від загальної кількості і, відповідно, 95% нерозчинної фракції. Нерозчинна фракція геміцелюлоз сповільнює черствіння хлібобулочних виробів шляхом уповільнення ретроградації крохмалю. Однак відомо, що використання пшеничних висівок негативно впливає на властивості пшеничного тіста та готових виробів. Використання пшеничних висівок знижує в'язкість, розтяжність і стійкість пшеничного тіста (Cheng, Sun, Fan, Li, Wang, & Qian, 2022), обмежує утворення клейковинного каркасу та погіршує еластичність тіста, знижує інтенсивність бродіння, впливає на питомий об'єм хліба та пористість, спричиняє потемніння скоринки (Hemdane, Jacobs, Dornez, Verspreet, Delcour, & Courtin, 2015; Kaprelyants, Fedosov, & Zhygunov, 2013; Hemdane, Leys, Jacobs, Dornez, Delcour, & Courtin, 2015).

Для нівелювання впливу пшеничних висівок на властивості тіста та якість хлібобулочних виробів з пшеничного борошна зменшують розмір частинок висівок, здійснюють їх ферментацію, додають в тісто ферменти (амілази, фітази, ксиланази, ліпоксигенази, глюкозооксидози та гексозоксидози, піранозоксидози, протеази) та суху пшеничну клейковину (Cingöz, Akpınar, & Sayaslan, 2023; Jacobs, Bogaerts, Hemdane, Delcour, & Courtin, 2016; Matsushita, Tamura, Goshima, Santiago, Myoda, Takata, & Yamauchi, 2020; Tebben, Shen, & Li, 2018).

У (Bilyk, Drobot, Bondarenko, & Halikova, 2017) розроблено комплексний хлібопекарський поліпшувач (КХП) «Свіжість» для покращання якості та подовження свіжості хліба пшеничного, в рецептуру якого входить 10% пшеничних висівок. До складу КХП входить як функціональна основа пивний порошок (пивний білок, який отримують фільтруванням витриманого пива та подальшим промиванням і висушуванням). До активної частини включено фосфатидний концентрат, ферментний препарат амілолітичної дії, карбоксиметилцелюлоза, аскорбінова кислота. Авторами підтверджено його вплив на якість готових виробів та процес їх черствіння. Для більш ґрунтового пояснення позитивного впливу КХП на якість виробів та уповільнення їх черствіння необхідно дослідити реологічні властивості тіста з КХП, від яких безпосередньо залежить якість готових виробів.

Метою статті є дослідження впливу КХП «Свіжість» на реологічні властивості пшеничного тіста, рецептура якого містить 10% пшеничних висівок до маси борошна.

Матеріали і методи. Для досліджень використовували борошно пшеничне вищого сорту, пшеничні висівки, КХП «Свіжість». Пшеничні висівки додавали в кількості 10% до маси борошна. Зразки готували з додаванням 2,0% КХП «Свіжість» до маси борошна (Bilyk, Drobot, Bondarenko, & Halikova, 2017). Контролем був зразок з пшеничними висівками.

Реологічні властивості тіста характеризували за дослідженнями на альвеографі (фірма Chopin Technologies, Франція) та фаринографі (фірма Brabender®, Німеччина), газотримувальною здатністю, за показниками питомого об'єму тіста та формотримувальною здатністю, за показником розпливання кульки тіста.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel XP.

Результати і обговорення. Дослідження пружно-еластичних властивостей тіста на альвеографі AlveoPC показали (табл. 1, рис. 1), що використання КХП «Свіжість» у виготовленні хлібобулочних виробів, які містять висівки, збільшує пружність тіста на 21,5%, порівняно з контролем, і зменшує розтяжність на 7,4% завдяки синергічній дії складових КХП. При цьому спостерігається збільшення питомої деформації, тому рекомендується проводити інтенсивне замішування тіста. Це пояснюється використанням фосфатидного концентрату, що зменшує пружно-еластичні властивості тіста через утворення комплексів емульгатора з білками клейковини. Фосфатидний концентрат зменшує поверхневий натяг унаслідок адсорбції у вигляді плівок на поверхні розділу фаз. У тісті він зв'язується з водою чи з біополімерами борошна своїми полярними групами. Неполарні групи фосфатидного концентрату, які мають слабкі дисперсні сили, залишаються вільними і зменшують неурівноважену силами когезії енергію поверхні (Tebben, Shen, Li, 2018). Поряд з цим аскорбінова кислота зміцнює структуру тіста, що пояснюється окислювальними властивостями аскорбінової кислоти у тісті, яка окислює вільні сульфгідрильні одиниці в клейковині, формуючи дисульфідні зв'язки, в результаті чого відбувається зміцнення (Kläui, 1985). Зміцнювальну дію спричиняє також використання в рецептурі КХП карбоксиметилцелюлози, яка укріплює клейковину в результаті виникнення іонних зв'язків між групами $-COO$ карбоксиметилцелюлози і $-NH_3$ білка клейковини, а також інгібуючого впливу на протеолітичні ферменти (Davidou, Meste, Debever, & Bekaert, 1996).

Більш різнобічну характеристику структурно-механічних властивостей тіста можна одержати за допомогою фаринографа Farinograph-AT (фірма Brabender® Німеччина).

За допомогою фаринографа вивчали вплив КХП «Свіжість» на водопоглинальну здатність тіста, тривалість його утворення, стійкість та еластичність у процесі замішування. Як свідчать дані табл. 2 та рис. 2, водопоглинальна здатність тіста з внесенням КХП «Свіжість», порівняно з контролем, збільшується на 7,9%, час утворення тіста подовжується на 73,6%, стійкість тіста збільшується на 23,8%, зменшується розрідження тіста. Дослідження підтвердили, що використання КХП сприяє збільшенню пружності та стійкості тіста з висівками. Це є наслідком синергічного впливу складових КХП «Свіжість».

Позитивний результат підтверджується вищою фаринографічною баловою оцінкою якості та корелює з показниками альвеографа.

Таблиця 1. Вплив комплексних хлібопекарських поліпшувачів на пружно-еластичні властивості тіста (за альвеографом), $n=3$, $p \leq 0,95$

Зразки	Пружність, Р мм	Розтяжність, L, мм	P/L	Площа альвеограми, S, см ²	Питома робота деформації, W, 104 Дж
Контроль (без добавок)	130	27	4,81	21,8	141
З КХП «Свіжість»	158	25	6,32	24,4	180

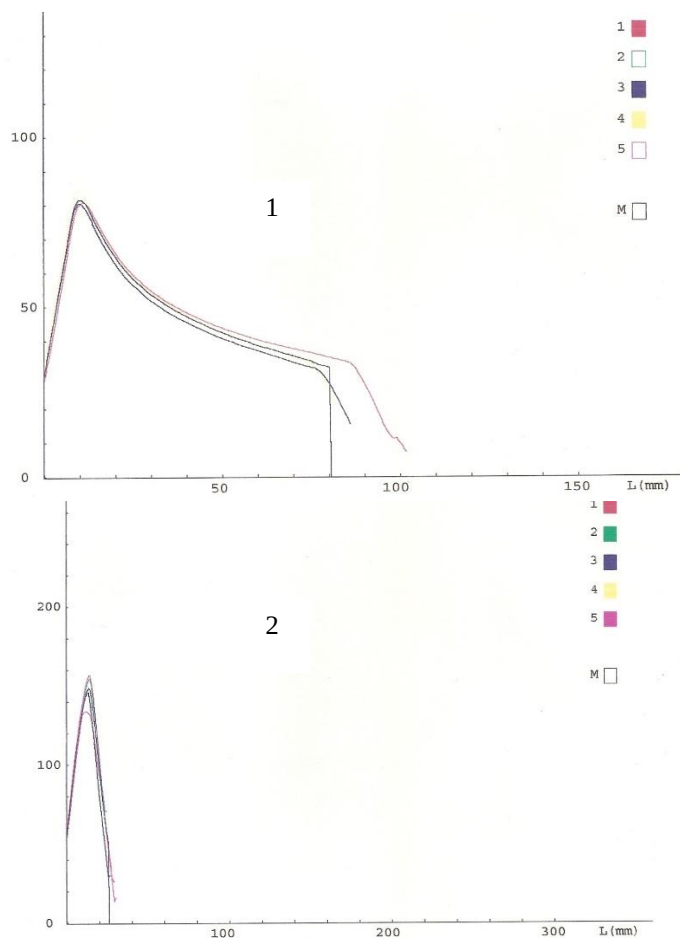


Рис. 1. Альвеограми тіста з комплексними хлібопекарськими поліпшувачами:
1 — контроль (без добавок); 2 — з КХП

Таблиця 2. Вплив комплексного хлібопекарського поліпшувача на пружно-еластичні властивості тіста (за фаринографом), $n=3$, $p \leq 0.95$

Показники	Зразки	
	Контроль без добавок	з КХП
Час утворення тіста, хв	1,9	3,3
Стійкість тіста, хв	8,8	10,9
Розрідження, од. пр. 10 хв після початку	30,0	23,0
Розрідження, од. пр. 12 хв після максимуму	38,0	31,0
Водопоглинальна здатність, %	61,4	66,3
Водопоглинальна здатність, % на масову частку вологи в борошні 14 %	58,4	63,9
Фаринограмова балова оцінка якості	98	138

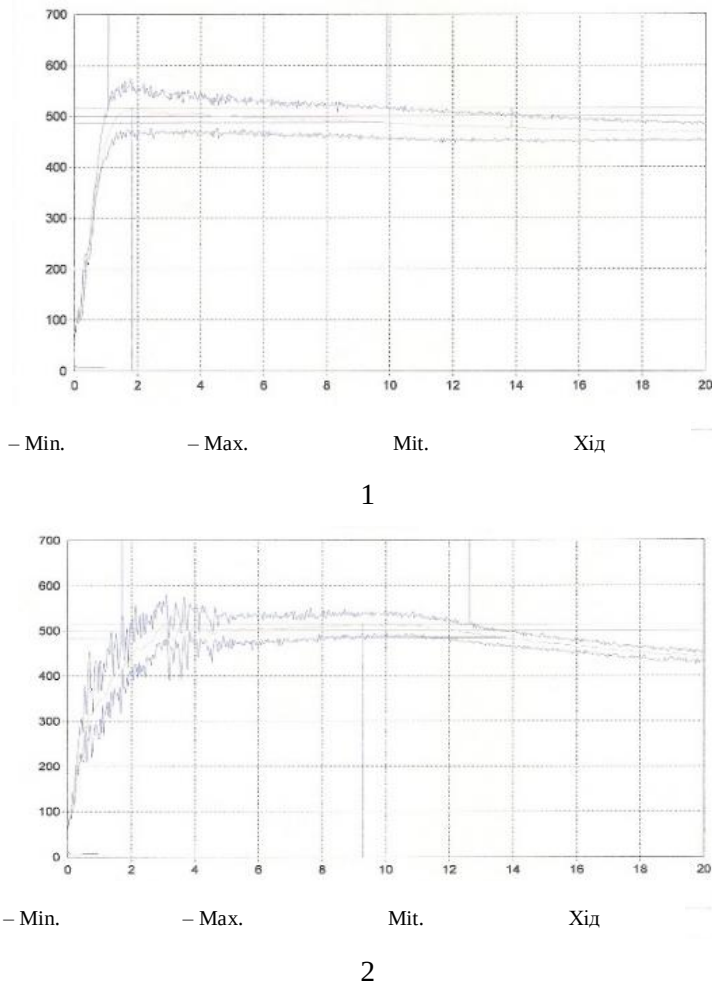


Рис. 2. Фаринограми тіста з комплексними хлібопекарськими поліпшувачами:
1 — контроль без добавок, 2 — з КХП «Свіжість»

Пшеничному тісту притаманні, поряд з пружно-еластичними властивостями, в'язко-пластичні, які впливають на формоутворювальну здатність. Тому було доцільно дослідити вплив КХП на в'язко-пластичні властивості тіста. Вплив розроблених КХП досліджували за зміною текучості тіста, тобто за розпливанням кульки тіста масою 50 г, яке обумовлене зміщенням його шарів внаслідок зменшення «внутрішнього тертя» системи (в'язкості). Результати проведених досліджень представлено на рис. 3.

З наведених даних видно, що в разі використання КХП «Свіжість» відбувається зниження розпливання кульки тіста на 9,5%, порівняно з контролем, що свідчить про зміцнення структури тіста, тобто завдяки утворенню дисульфідних та іонних зв'язків тістові заготовки в меншій мірі будуть розпливатися.

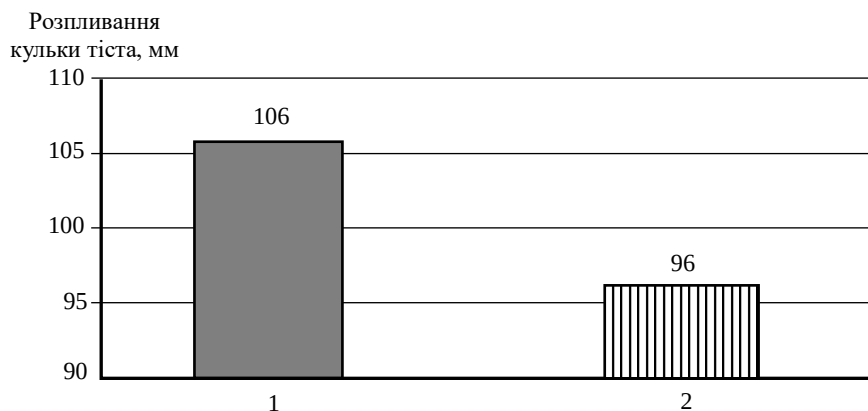


Рис. 3. Вплив КХП на розпливання кульки тіста:
1 — контроль без добавок; 2 — з КХП «Свіжість»

Підвищення питомої роботи деформації тіста у разі використання КХП за альвеографом свідчить про покращання газотримувальної здатності тіста з КХП. Для підтвердження достовірності отриманих результатів досліджували процес зміни об'єму тіста в мірному циліндрі на 250 см^3 в термостаті за температури 30°C протягом 90 хв дозрівання і розраховували питомий об'єм тіста.

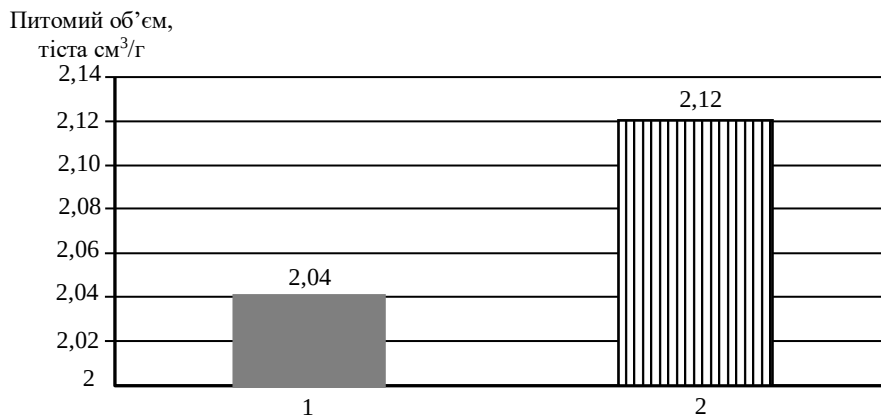


Рис. 4. Вплив КХП на газотримувальну здатність тіста:
1 — контроль без добавок; 2 — з КХП

З наведених даних видно, що за використання КХП об'єм тіста зростає на 4,0% порівняно з контролем. Це пов'язано зі зміцненням структури тіста за рахунок утворення дисульфідних та іонних зв'язків і комплексів між емульгатором і білками клейковини та покращанням газотворювальної здатності внаслідок інтенсифікації процесу бродіння внесеним ферментним препаратом амілолітичної дії.

Отже, використання розробленого КХП «Свіжість» надає можливість утворювати тісто з добре розвинутою пористістю та питомим об'ємом.

Висновки

Встановлено, що КХП «Свіжість» забезпечує зростання величини роботи деформації, що свідчить про укріплення структури тіста внаслідок утворення комплексів з лецитином, зміцнення клейковинного каркасу перетворенням сульфгідрильних груп у дисульфідні та виникненням іонних зв'язків між групами $-COO$ КМЦ і $-NH_3$ білка клейковини.

КХП сприяє збільшенню водопоглинальної здатності, що є передумовою внесення в тісто більшої кількості води, яка буде поглинута біополімерами борошна та внесеними складовими з КХП. Збільшення пружності може бути передумовою подовження збереження свіжості хлібобулочними виробами за рахунок утворення більшої кількості дисульфідних зв'язків, які будуть краще утримувати вологу під час старіння білка. Для надання тісту оптимальних структурно-механічних властивостей з КХП необхідно подовжувати тривалість замішування.

Подяка

Дослідження виконано під егідою Грантової угоди 620521-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-MODULE між Виконавчою агенцією з питань освіти, аудіовізуальних засобів і культури Європейської комісії та Національним університетом харчових технологій щодо реалізації проекту Модуль Жана Моне під назвою «Регулювання використання харчових добавок в різних технологіях та гармонізація європейських регламентів в Україні на шляху Євроінтеграції» програми Європейського Союзу Еразмус+.

Література

Ali Cingöz, Özlem Akpınar, Abdulvahit Sayaslan. (2023). Rheological properties of dough by addition of wheat bran hydrolysates obtained at different temperatures. *Journal of Cereal Science*, 109, 103612. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103612>.

Cherno, N., Gural, L., & Naidonov, O. (2021). Висівки чорнозернової пшениці як перспективне джерело харчових волокон з розширеним спектром функціональних можливостей. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 20(4), 11—17. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v4i4.2014>

Katileviciute, A., Plakys, G., Budreviciute, A., Onder, K., Damiani, S., Kodzius, R. (2019). A Sight to Wheat Bran: High Value-Added Products. *Biomolecules*, 9(12):887. doi: 10.3390/biom9120887.

Huang Ling-Zhi, Ma Ming-Guo, Ji Xing-Xiang, Choi Sun-Eun, Si Chuanling. (2021). Recent Developments and Applications of Hemicellulose From Wheat Straw: A Review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2021.690773>

Cheng, W. Sun, Y., Fan, M., Li, Y., Wang, L., Qian, H. (2022). Wheat bran, as the resource of dietary fiber: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 62(26):7269—7281. doi: 10.1080/10408398.2021.1913399. Epub 2021 May 3. PMID: 33938774.

Hemdane, S., Jacobs, P. J., Dornez, E., Verspreet, J., Delcour, J. A., Courtin, C. M. (2015). Wheat (*Triticum aestivum* L.) Bran in Bread Making: A Critical Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 15(1):28—42. doi: 10.1111/1541-4337.12176.

Kaprelyants, L., Fedosov, S., Zhygunov, D. (2013). Baking properties and biochemical composition of wheat flour with bran and shorts. *J. Sci Food Agric.* 93(14):3611—6. doi: 10.1002/jsfa.6320. Epub 2013 Aug 14. PMID: 23893333.

Hemdane, S., Leys, S., Jacobs, P. J., Dornez, E., Delcour, J. A., Courtin, C. M. (2015). Wheat milling by-products and their impact on bread making. *Food Chem.* 15;187:280—9. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.04.048. Epub 2015 Apr 22. PMID: 25977028.

Jacobs, P. J., Bogaerts, S., Hemdane, S., Delcour, J. A., Courtin, C. M. (2016). Impact of Wheat Bran Hydration Properties As Affected by Toasting and Degree of Milling on Optimal Dough Development in Bread Making. *J. Agric Food Chem.* 11; 64(18):3636—44. doi: 10.1021/acs.jafc.5b05958. Epub 2016 May 2. PMID: 27092966.

Matsushita, K., Tamura, A., Goshima, D., Santiago, D. M., Myoda, T., Takata, K., Yamauchi, H. (2020). Effect of combining additional bakery enzymes and high pressure treatment on bread making qualities. *J. Food Sci Technol.* 57(1):134—142. doi: 10.1007/s13197-019-04038-4.

Maria Grazia Farbo, Costantino Fadda, Salvatore Marceddu, Paola Conte, Alessandra Del Caro, Antonio Piga. (2020). Improving the quality of dough obtained with old durum wheat using hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 101, 105467. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105467>.

Lauren Tebben, Yanting Shen, Yonghui Li. (2018). Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 10—24, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.015>.

O.Bilyk, V. Drobot, Yu. Bondarenko, E. Halikova. (2017). Research of efficiency of the use of complex bread-breaking improver "Freshness" for extension of fresh bread with cuts. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 3/10(80), 32—41 DOI: 10.15587/1729-4061.2017.103860.

Olena Bilyk, Vira Drobot, Yulia Bondarenko, Esma Halikova. (2017). Investigation of bran loaves staling for the use of complex baking improver "Freshness". *«EUREKA: Life Sciences»*, 3, 30—34.

Kläui, H. (1985). Ascorbic acid as a flour and bread improver. *Int J Vitam Nutr Res Suppl.* 27:335—43. PMID: 3926702.

S. Davidou, M. Le Meste, E. Debever, D. Bekaert. (1996). A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 10(4), 375—383, [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(96\)80016-6](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(96)80016-6).

PRODUCTION OF FOOD SYRUPS FROM SUGAR SORGHUM

N. Husiatynska, O. Kalenyk

National University of Food Technologies

N. Hryhorenko

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Key words:

Sugar sorghum
Syrup technology
Ultrafiltration
Syrup quality
Trace elements

Article history:

Received 17.05.2023

Received in revised form
31.05.2023

Accepted 14.06.2023

Corresponding author:

N. Husiatynska

E-mail:

ngusyatynska@ukr.net

Citation: Гусятинська
Н.А., Каленик О.С.,
Григоренко Н.О. (2023).
Виробництво харчових
сиропів із сорго
цукрового. *Наукові праці*
НУХТ, 29(3), 128—138.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2023-29-3-12

ABSTRACT

The results of researching of technological quality of food syrups obtained from sugar sorghum are presented in the article. A promising direction for expanding the range of sugar products is the production of organic products, as well as sugars with an enriched macro- and microelement composition. At the same time, the actual issue is the production of sweet syrups obtained from sugar sorghum as an alternative for using sugar in food products.

The technology of food syrups from sugar sorghum involves the use of a number of technological stages, in particular, juice purification. The technology of producing food syrup using the methods of adsorption purification, membrane filtration and ion exchange were described. The results of researching the technological qualities of syrups, their carbohydrate and mineral composition were presented. Determination of the carbohydrate composition of syrups was carried out using the method of liquid chromatography. The qualitative and quantitative composition of mineral elements was determined using an elemental composition analyzer EXPERT 02L.

Based on experimental studies, it was established that the carbohydrate composition of the obtained syrups differed slightly in terms of quantitative content and it was, on average, as a percentage of the total sugar content in the range: sucrose 53.4—55.8%, glucose 20.93—24.5%, fructose 19.7—20.93%.

The average content of mineral elements for syrups obtained using zeolite-clinoptilolite for purification of the initial juice, mechanical filtration, ultrafiltration, ion exchange was given. It was shown that the mineral composition of the obtained food syrups from sugar sorghum included such elements as: magnesium, silicon, phosphorus, sulfur, chlorine, potassium, calcium, manganese, iron, bromine. It was determined that the mineral composition of the food syrup differed in the case of purification using ion exchange resins. In particular, magnesium content was not detected in this syrup.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-12

ВИРОБНИЦТВО ХАРЧОВИХ СИРОПІВ ІЗ СОРГО ЦУКРОВОГО

Н. А. Гусятинська, О. С. Каленик

Національний університет харчових технологій

Н. О. Григоренко

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України

У статті наведено результати дослідження технологічної якості харчових сиропів, одержаних із сорго цукрового. Перспективним напрямком розширення асортименту цукропродуктів є виробництво органічних продуктів, а також цукрів зі збагаченим макро- та мікроелементним складом. Водночас актуальним питанням є виробництво солодких сиропів, одержаних з цукрового сорго, як альтернативи застосування цукру у харчових продуктах.

Технологія харчових сиропів із сорго цукрового передбачає застосування ряду технологічних стадій, зокрема очищення соку. Описано технологію одержання харчового сиропу з використанням методів адсорбційного очищення, мембранного фільтрування та іонного обміну. Наведено результати досліджень технологічної якості сиропів, їх вуглеводного та мінерального складу. Визначення вуглеводного складу сиропів проведено з використанням методу рідинної хроматографії. Якісний і кількісний склад мінеральних елементів визначали за допомогою аналізатора елементного складу речовин EXPERT 02L.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що вуглеводний склад одержаних сиропів незначно відрізняється за кількісним вмістом і становить у середньому у відсотках до загального вмісту цукрів в межах: цукрози 53,4—55,8%, глюкози 20,93—24,5%, фруктози 19,7—20,93%.

Наведено середній вміст мінеральних елементів для сиропів, одержаних із застосуванням для очищення вихідного соку цеоліту-клинотилоліту, механічного фільтрування, ультрафільтрації, іонного обміну. Показано, що до мінерального складу одержаних харчових сиропів із сорго цукрового входять такі елементи, як магній, кремній, фосфор, сірка, хлор, калій, кальцій, манган, залізо, бром. Визначено, що мінеральний склад харчового сиропу відрізнявся у разі використання очищення із застосуванням іонообмінних смол. Зокрема, у такому сиропі не виявлено вмісту магнію.

Ключові слова: сорго цукрове, технологія сиропу, ультрафільтрація, якість сиропу, мікроелементи.

Постановка проблеми. На сьогодні у світі змінюються тенденції щодо асортименту та якості харчових продуктів, що пов'язано із зацікавленістю споживачів у здоровому та повноцінному харчуванні. Перспективним напрямком є розширення асортименту цукропродуктів шляхом виробництва органічних продуктів, а також цукрів зі збагаченим макро- та мікроелементним складом.

Традиційною сировиною для одержання цукру в Україні є цукрові буряки. В той же час у світі відбувається невідомий процес кліматичних змін, що негативно

впливає на традиційне сільськогосподарське виробництво. Так, в окремих регіонах України вирощування цукрових буряків без зрошення стає економічно невигідним. Однією з перспективних сільськогосподарських культур є сорго цукрове, оскільки ця культура здатна формувати високі врожаї в різних кліматичних умовах, на різноманітних ґрунтах завдяки потужній, кореневій системі, що глибоко проникає в ґрунт (Найденко, 2020).

Отже, у зв'язку з кліматичними змінами в Україні набуває подальшої актуальності проблема пошуку альтернативних цукровмісних культур і розроблення раціональної технології їх перероблення для розширення асортименту цукристих продуктів (Hryhorenko, Husiatynska, & Kalenyk, 2021).

Наразі інноваційні підходи у сфері виробництва цукрів і харчових цукровмісних сиропів спрямовані на виробництво цукропродуктів підвищеної харчової цінності за вимог їх високої якості та безпечності. Так, світові тенденції розвитку цукрової галузі показали розширення асортименту за рахунок впровадження органічних продуктів, зокрема органічного цукру, а також різних видів цукрів з тростини та цукрових буряків, збагачених макро- та мікроелементами, такими як кальцій, фосфор, магній, натрій, калій тощо (Sugar for decoration, fillings, confectionery and adding flavour, 2023).

Огляд останніх досліджень і публікацій. Наразі значно зростає актуальність використання солодких сиропів, одержаних із цукрового сорго. Пріоритетність сорго цукрового перед іншими цукроносними культурами полягає в тому, що сік стебел цукрового сорго містить від 14% до 20% вуглеводів, основну частку яких складає цукроза — 60—80%, і редукувальні речовини. Також сік є джерелом біологічно активних речовин, він містить аміно- та органічні кислоти, поліфеноли, білки, вітаміни, мінеральні речовини (Umakanth, Kumar, Vermerris, & Tonari, 2019).

Більшість наявних у соку компонентів перешкоджає отриманню кристалічного цукру, тому його концентрують до прозорого сиропу, який має м'який смак, а присутня в ньому фруктоза надає йому ледь помітний медовий тон. В умовах концентрування соків до сиропу під дією високих температур існуючі цукри вступають у складні реакції дегідратації, меланоїдиноутворення (реакція Маяра) тощо, що й призводить до інтенсивного утворення забарвлених речовин, які впливають на харчові властивості сиропу як за кольором, так і за смаком. Крім того, науковці з Кенії (Willis etc, 2013) на основі аналізу хімічного складу отриманого солодкого сиропу із сорго стверджують, що його можна порівняти із сиропом із цукрової тростини, однак завдяки високому рівню загального вмісту фенолів і флавоноїдів сироп володіє відмінними антиоксидантними властивостями, що дає змогу широко його застосовувати в харчовій промисловості як продукт з оздоровчими властивостями. Отже, отримання харчового сиропу із сорго цукрового є хорошим підґрунтям для розроблення біологічно цінних харчових продуктів, які будуть корисними в оздоровчому харчуванні.

Цукровий сироп із сорго можна використовувати в багатьох харчових продуктах. Так, науковцями НУХТ (Карпутіна, Фролова, & Олійник, 2014) розроблено технологію оздоровчих ферментованих напоїв з використанням соку сорго цукрового. Застосування цукрового сорго для виробництва ферментованих напоїв сприяє підвищенню біологічної цінності продукту, збільшенню вмісту корисних

речовин та антиоксидантів, а також поліпшенню смакових властивостей. У (Mazumdar, Poshardi, Ravinder, & Scranivasa, 2012) розроблено технологію напою на основі підготовленого соку цукрового сорго й ароматизатора.

У виробництві харчових сиропів із сорго цукрового науковцями було запропоновано застосування різних хімічних реагентів. Так, у дослідженнях (Costa, De Freitas, DeFreita, & Mutton, 2015) автори пропонують освітлення соків сорго цукрового проводити з використанням гідроксиду кальцію та оксиду магнію. На підприємстві в Міссурі, США (Eggleston, Heckemeyer, Cyr, & Wartelle, 2016) для виробництва промислової партії сиропу було апробовано технологію, яка передбачала осадження деаерованого соку у відстійниках, гаряче освітлення соку за температури 80 °C та проведення дефекації до pH 6,5 з вапняним молоком 360г/л та додаванням 5ppm поліаніонного флокулянту.

На основі експериментальних досліджень (Husiatynska, Hryhorenko, Kalenyk, Husiatynskyi, & Teterina, 2021) встановлено, що застосування природного адсорбенту цеоліту для очищення соку сорго сприяє зменшенню його забарвленості та видаленню ВМС та білкових речовин.

Перспективним напрямком очищення цукровмісних соків є застосування мембранних методів фільтрування. У результаті проведених експериментальних досліджень авторами (Григоренко, Гусятинська, Вакулук, & Чібриков, 2020) запропоновано технологію отримання концентрованих соків шляхом освітлення й концентрування очищеного соку цукрового сорго методами ультрафільтрації та мембранної дистиляції.

Метою статті є дослідження технологічних показників якості сиропів, одержаних із цукрового сорго із застосуванням цеоліту-клинотиліоліту і методів ультрафільтрації та іонного обміну для очищення соку.

Матеріали і методи. Як рослинну сировину використовували стебла сорго цукрового гібриду Мамонт одеської селекції (Селекційно-генетичний інститут — Національний центр НААН), які відбирались у вегетаційний період молочно-воскової стиглості зерна на дослідних ділянках поля Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксаверівка 2, Васильківського району Київської області).

Для очищення соку сорго цукрового від високомолекулярних сполук і барвних речовин було застосовано цеоліт-клинотиліоліт, мембранні методи фільтрування та іонообмінне очищення.

Природний цеоліт з фракціями <0,3 (порошкоподібний), 0,2...0,5 мм та 1...3 мм, виготовлений ДП «Закарпатський цеолітовий завод» с. Сокирниця Хустського району Закарпатської області, Україна ТУ У 15.7—31251965—001:2009.

Методика попереднього очищення соку сорго цукрового. Під час проведення досліджень використовували спосіб одержання сиропів, розроблений у (Гусятинська та ін., 2021), відповідно до якого стебла сорго після відділення листя підлягали ополіскуванню з метою очищення від залишків ґрунту. Після цього стебла подрібнювали та віджимали з них пресовий сік за допомогою вальцювого пресу. Макуха після пресування надходила в екстрактор для подальшого знецукрення стебел сорго. До пресового соку додавали одержаний екстракт. У табл. 1 наведено технологічні показники вихідного пресово-дифузійного соку зі стебел сорго.

Таблиця 1. Технологічні показники вихідного пресово-дифузійного соку зі стебел сорго

Найменування показника	Значення
pH ₂₀	4,9
Вміст сухих речовин (СР), %	15,2
Вміст крохмалю, %	2,8
Вміст білкових речовин, %	1,5
Вміст золи, мг/дм ³	153
Вміст високомолекулярних сполук (ВМС), % до маси СР	10,92
Вміст загального цукру, %	13,06
Вміст редукувальних речовин, %	4,32
Вміст сахарози, %	8,74
Чистота, % цукру до маси СР	85,92

Отриманий вихідний сік підлягав попередньому очищенню, що передбачало термічну коагуляцію білків за температури 86—88 °С з одночасним процесом клейстеризації крохмалю. Після цього сік охолоджували до температури 52—55 °С та додавали фермент α -амілаза при перемішуванні протягом 30 хвилин. Після нагрівання соку до температури 58—60 °С додавали розчин глюкоамілази та перемішували протягом 30 хвилин. Сік нагрівали для інактивації ферментів.

В одержаний сік додавали порошкоподібний цеоліт-клинотилоліт у кількості 1,0% за температури 50—60 °С і тривалості процесу обробки 8—10 хвилин. Після обробки цеолітом сік надходив на механічну фільтрацію та ультрафільтраційну установку. Для механічного фільтрування використовували поліпропіленовий картриджний фільтр Ecosoft 2,5×10 зі ступенем розділення 5—10 мкм. Для ультрафільтраційного очищення використовували мембрани Aquafilter TLCHF-2T зі ступенем розділення 0,02—0,1 мкм за робочого тиску 0,1—0,15 МПа.

Одержаний сік розділяли на 2 порції (сік I та сік II). Сік II підлягав додатковому очищенню з використанням процесу іонообмінної сорбції через іонообмінні смоли DOWEX MB-50 змішаної дії (у співвідношенні 1,2:1,0 катіоніту в Н-формі та аніоніту в ОН-формі).

Після очищення обидва зразки соків (сік I та сік II) згущували в лабораторній випарній установці за умови розрідження при температурі 80 °С та одержували два зразки готового продукту: сироп I та сироп II.

Методика визначення основних технологічних показників якості соків сорго цукрового та харчового сиропу. Дослідження проводились з використанням класичних методів аналізу й контролю, існуючих у цукровій і кондитерській галузі та прийнятих у міжнародній практиці. Вміст загальних цукрів і редукувальних речовин визначали за йодометричним методом (Герасименко, & Хвалковський, 1992), який ґрунтується на відновленні лужного розчину міді розчином редукувальних речовин і кількісного визначення відновленого оксиду міді (I). Показник чистоти розраховували як відношення загального вмісту цукрів у продукті до вмісту в ньому сухих речовин, помножений на 100%. Вміст крохмалю визначали методом Морелл Ду Воїл, який ґрунтується на вимірюванні оптичної густини досліджуваного розчину, підкисленого оцтовою кислотою й обробленого йодидом калію на спектрофотометрі СФ-46 за довжини хвилі 570 нм. Концентрацію крохмалю визначали за калібрувальним графіком (Штангеева та ін., 2000). Вміст ВМС і

колоїдів визначали за методом А. В. Думанського і С. Є. Харіна в модифікації С. І. Королькова і П. М. Сіліна, який ґрунтується на властивості гідрофільних колоїдів коагулювати в розчині після додавання етанолу з подальшим кількісним їх визначенням ваговим методом. Вміст білків визначали за методом Л. П. Реви, Г. А. Сімахіної (з біуретовим реактивом) на спектрофотометрі СФ-46 за довжини хвилі 600 нм. Вміст сухих речовин (СР, % до маси продукту) визначали без проведення підготовки проби при температурі 20 °С рефрактометричним методом з використанням рефрактометра РПЛ-3. Активність іонів Н⁺ визначали потенціометричним методом за допомогою універсального іоніміра ЕВ-74. Забарвленість розчинів визначали фотометричним методом, вимірюванням оптичної густини розчинів за допомогою фотоелектроколориметра КФК-3 в кюветі розміром 10 мм та довжини хвилі 560 нм (Купчик та ін., 2007).

Для визначення вуглеводного складу сиропів було проведено дослідження з використанням методу рідинної хроматографії.

Якісний і кількісний склад мінеральних елементів визначали за допомогою аналізатора елементного складу речовин EXPERT 02L, який забезпечував представлення результатів аналізу з автоматизованим розрахунком похибки вимірювання.

Статистичний аналіз. Математична обробка результатів проведених досліджень була опрацьована за допомогою Microsoft Excel 2007.

Результати і обговорення. Відповідно до представленої технології було отримано два зразки готового продукту: сироп І та сироп ІІ, технологічні показники яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Технологічні показники сиропів з цукрового сорго

Показники	Значення	
	сироп І	сироп ІІ
pH ₂₀	4,8	4,65
Забарвленість, од. ICUMSA	1309,6	725,9
Вміст сухих речовин (СР), %	70,9	76,9
Вміст редукувальних речовин, %	28,63	34,13
Вміст цукрози, %	37,65	40,77
Вміст загального цукру, %	66,28	74,9
Вміст золи (кондуктометричної), % на 100 СР	1,39	0,55
Чистота, % цукру до маси СР	93,48	97,4

На основі проведених досліджень встановлено, що чистота сиропу, одержаного з пресово-дифузійного соку без використання додаткового іонітного очищення становила 93,48%, а в разі додаткового очищення соку з використанням іонообмінних смол DOWEX MB-50 чистота сиропу ІІ становила 97,4%. Слід відмітити, що в сиропі І, одержаному без використання іонообмінного очищення, вміст золи кондуктометричної був вищим у 2,5 раза порівняно із сиропом ІІ після додаткового очищення. Також необхідно зазначити, що сироп ІІ характеризувався значно меншим показником забарвленості порівняно із сиропом І.

Наведені результати досліджень демонструють високу якість харчових сиропів, одержаних з пресово-дифузійного соку зі стебел сорго цукрового, за умови

заміни стадії його хімічного очищення шляхом застосування природного сорбенту цеоліту-клиноптилоліту, методів мембранного фільтрування та іонообміну.

Для визначення вуглеводного складу сиропів було проведено дослідження з використанням методу рідинної хроматографії. В табл. 3 наведено результати узагальнення хроматографічного аналізу сиропу I, які показують, що масова частка цукрози до загального вмісту цукрів у сиропі I становить 55,8%, глюкози — 24,5% та фруктози — 19,7%.

Таблиця 3. Результати хроматографічного аналізу вмісту цукрів для сиропу I

Пік №	Час утримання	Площа	Висота	Концентрація	Одиниці виміру	Назва
1	37,018	8708365	95547	4,495	мг/мл	Цукроза
2	43,051	4136907	40040	1,972	мг/мл	Глюкоза
3	50,335	3336596	28751	1,588	мг/мл	Фруктоза
Сума:		16181868	164339			

Хроматографічний аналіз вуглеводів, що входять до складу сиропу II (табл. 4), підтвердив аналогічний якісний склад вуглеводів: цукрози, глюкози та фруктози.

Таблиця 4. Результати хроматографічного аналізу вмісту цукрів для сиропу II

Пік №	Час утримання	Площа	Висота	Концентрація	Одиниці виміру	Назва
1	37,026	8427254	92563	4,350	мг/мл	Цукроза
2	43,070	4388837	42705	2,092	мг/мл	Глюкоза
3	50,341	3579082	30810	1,704	мг/мл	Фруктоза
Сума:		16395172	166078			

Згідно з даними, наведеними в табл. 4, вміст цукрози у сиропі II складає 53,40%, глюкози — 25,67% та фруктози — 20,93% від загального вмісту цукрів.

Проведені аналізи свідчать, що вуглеводний склад одержаних сиропів незначно відрізняється за кількісним вмістом і становить в середньому у відсотках до загального вмісту цукрів у межах: цукрози 53,4—55,8%, глюкози 20,93—24,5%, фруктози 19,7—20,93%. За даними хроматографічного аналізу вміст цукрози переважає в обох зразках сиропів.

Також були проведені дослідження з метою визначення елементного та кількісного складу мінеральних сполук одержаних сиропів. Результати досліджень представлені в табл. 5. Для перерахунку вмісту макро- та мікроелементів мінерального складу у відсотках до маси сухих речовин (СР) продукту (сиропу) враховували загальний вміст золи кондუმетричної у відповідних сиропах.

Таблиця 5. Середні показники відсоткового та кількісного складу мінеральних елементів

Елемент	Сироп I		Сироп II	
	% до маси золи	% до маси СР сиропу	% до маси золи	% до маси СР сиропу
Mg	16,205±2,315	0,22±0,031	—	—

Si	1,118±0,189	0,015±0,003	1,339 ± 0,19	0,007±0,001
P	1,186±0,098	0,016±0,001	1,994±0,106	0,011±0,0006
S	1,773±0,068	0,025±0,001	2,141±0,059	0,012±0,0003
Cl	30,161±0,682	0,42±0,009	39,953±0,206	0,22±0,001
K	11,108±0,242	0,15±0,003	24,144±0,114	0,132±0,0006
Ca	39,755±0,816	0,55±0,011	29,349±0,142	0,161±0,0008
Mn	0,148±0,008	0,002±0,0001	0,144±0,009	0,0007±0,00004
Fe	2,466±0,057	0,034±0,001	0,937±0,016	0,005±0,0001
Br	0,177±0,004	0,002±0,0001	—	—

За даними, наведеними в табл. 5, можна зробити висновок, що сироп I має багатший елементний склад і містить магній, кремній, фосфор, сірку, хлор, калій, кальцій, манган, залізо, бром.

Проведені дослідження показали, що сиропи із цукрового сорго містять необхідні макро- та мікроелементи, що, відповідно, підвищує їх харчову цінність. Так, вміст магнію у сиропі I становив — 0,22±0,031% до маси СР, проте у сиропі II відсутній. Магній відіграє багатогранну роль у функціонуванні організму людини. Його присутність необхідна для нормального перебігу багатьох біохімічних реакцій і фізіологічних процесів, які забезпечують енергетику та функціонування органів, в тому числі бере участь у синтезі та розпаді нуклеїнових кислот, синтезі білків, жирних кислот і ліпідів. Крім того, магній регулює стан клітинної мембрани, трансмембранне перенесення іонів кальцію і натрію, відіграє роль у функціонуванні імунної системи (Гишак, Марушко, & Асонов, 2019).

Одним із найважливіших мінералів для нормального функціонування організму людини є калій. В одержаних сиропих вміст калію становив, відповідно % до маси СР сиропу: 0,15±0,003 (сироп I) та 0,132±0,0006 (сироп II). Основна роль калію полягає в підтриманні рівноваги води в організмі і контролю над діяльністю серцево-судинної системи (Мотрук, 2017).

Вміст кальцію, % до маси СР, становить: у сиропі I — 0,55±0,011, у сиропі II — 0,161±0,0008. Кальцій є одним з найважливіших мінералів в організмі людини і відіграє ряд важливих функцій (Малюк, & Репецька, 2014).

Що стосується Si, P, S, Mn, Fe, Br, то їх вміст значно менший порівняно з вмістом вищезазначених елементів Mg, Cl, Ca, K.

Так, вміст кремнію у сиропі I становить 0,015±0,003% до маси СР, відповідно у сиропі II — 0,007±0,001% до маси СР. Кремній є важливим мікроелементом, який необхідний для нормального функціонування організму. Він знаходиться у лімфатичних вузлах і щитоподібній залозі, а також міститься в різних тканинах (сполучна тканина, кістки, нерви, гіпофіз і волосся). Кремній сприяє біосинтезу колагену, регулює метаболізм 70 мінеральних солей і вітамінів, а також підтримує рівновагу з кальцієм (Геник, 2014).

Вміст фосфору у сиропі I становить 0,016±0,001% до маси СР, відповідно у сиропі II — 0,011±0,0006% до маси СР. Фосфор є необхідним елементом для життя людини, він відіграє важливу роль у багатьох процесах життєзабезпечення. Фосфор є ключовим компонентом клітинних мембран і метаболічних процесів, також входить до складу багатьох біологічно важливих сполук, таких як кофериенти, нуклеїнові кислоти і фосфопротеїни. Фосфор засвоюється організмом

тільки за відповідного співвідношення з кальцієм в органічному зв'язку (Погожих, & Головко, 2017).

Вміст сірки у % до маси СР у сиропі I становить $0,025 \pm 0,001$, відповідно у сиропі II — $0,012 \pm 0,0003$. Сірка є важливим хімічним елементом для організму людини, входить до складу білків, амінокислот і вітамінів, таких як тіамін і біотин, є компонентом гормонів, ферментів та інших біологічно активних речовин. Сірка також відіграє важливу роль у підтриманні здоров'я шкіри, волосся та нігтів, оскільки вона є необхідною для вироблення колагену та кератину (Сивак, 2014).

Вміст іонів хлору у сиропі I становить $0,42 \pm 0,009\%$ до маси СР, у сиропі II — $0,22 \pm 0,001\%$ до маси СР. Хлор є одним з основних електролітів в організмі людини, тому він відіграє важливу роль у різних фізіологічних процесах, зокрема: регулювання водно-сольового балансу, рівня кислотності (хлор утворює кислу соляну кислоту в шлунку, що допомагає розщеплювати їжу і знижує ризик розвитку захворювань шлунка), підтримання нормальної функції нервової системи, регулювання артеріального тиску (Рижих, 2018).

Вміст мангану у сиропі I становить $0,002 \pm 0,0001\%$ до маси СР, у сиропі II — $0,0007 \pm 0,00004\%$ до маси СР. Манган є одним з важливих мікроелементів, які необхідні для здорового функціонування організму людини. Основна роль мангану полягає в його участі в різних метаболічних процесах. Манган входить до складу багатьох ферментів, які відповідають за обробку макронутрієнтів, таких як вуглеводи, білки і жири. Манган є важливим компонентом системи антиоксидантів організму, захищаючи клітини від шкідливої дії вільних радикалів. Він відіграє роль у підтримці здорової функції нервової системи та розумової діяльності, а також у здоров'ї кісток і зубів (Полумбрик, & Унрод, 2019).

Вміст заліза у сиропі I становить $0,034 \pm 0,001\%$ до маси СР, у сиропі II — $0,005 \pm 0,0001\%$ до маси СР. Залізо є одним з найважливіших мінералів в організмі людини і відіграє ключову роль у багатьох процесах життєдіяльності. Основні функції заліза в організмі: транспортування кисню, участь у багатьох метаболічних процесах, включаючи синтез ДНК, функціонування імунної системи тощо (Клим, 2021).

Вміст бром у сиропі I становить $0,002 \pm 0,0001\%$ до маси СР, у сиропі II — відсутній. Бром — це хімічний елемент, який має ряд важливих фізіологічних функцій в організмі людини, хоча його вміст є досить низьким. Бром сприяє заспокоєнню та розслабленню, допомагає зняти стрес, тривогу та нервозність.

Висновки

На основі проведених досліджень одержано харчові сиропи з цукрового сорго різної технологічної якості. Вуглеводний склад одержаних сиропів незначно відрізнявся за кількісним вмістом і відповідав у середньому вмісту (у відсотках до загального вмісту цукрів): цукрози 53,4—55,8%, глюкози 20,93—24,5%, фруктози 19,7—20,93%. Одержані зразки сиропів містили ряд необхідних макро- та мікроелементів, що підвищують харчову цінність цукропродуктів.

Так, мінеральний склад сиропу I, одержаного із застосуванням для очищення соку цеоліту-клинцитоліту та мембранного фільтрування, відповідав такому вмісту, % до маси СР: магній $0,22 \pm 0,031$, кремній — $0,015 \pm 0,003$, фосфор —

0,016±0,001, сірка — 0,025±0,001, хлор — 0,42±0,009, калій — 0,15±0,003, кальцій — 0,55±0,011, манган — 0,002±0,0001, залізо — 0,034±0,001, бром — 0,002±0,0001. Відповідно, вміст мінеральних сполук у сиропі П (з додатковим іонообмінним очищенням) становить, % до маси СР: магній — відсутній, кремній — 0,007±0,001%, фосфор — 0,011±0,0006, сірка — 0,012±0,0003, хлор — 0,22±0,001, калій — 0,132±0,0006, кальцій — 0,161±0,0008, манган — 0,0007±0,00004, залізо — 0,005±0,0001, бром — відсутній.

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропонована технологія дає змогу одержувати харчові сиропи з цукрового сорго без використання хімічних реагентів, що забезпечує високі якісні показники та забезпечує збереження мінерального складу готового продукту.

Отже, виробництво рідких цукровмісних сиропів із цукрового сорго є не тільки актуальним напрямком розширення асортименту цукрів, але й створення нових продуктів, збагачених макро- та мікроелементами. Такі сиропи можуть стати альтернативою цукру в багатьох харчових продуктах: кондитерських виробах, морозиві, йогуртах, безалкогольних напоях тощо.

Література

Геник, С. М. (2014). Кремній-природний ключ до здоров'я. *Галицький лікарський вісник*, 116—118.

Герасименко, О. А., & Хвалковський, Т. П. (1992). Методи аналізу і контролю у виробництві цукру. Київ: *Вища школа*, 388.

Григоренко, Н. О., Гусятинська, Н. А., Вакулук, П. В., Чібріков, В. В. (2020). Удосконалення технології цукровмісного соргового сиропу з використанням мембранних методів. *Наукові праці НУХТ*, 26(1), 142—152. doi:10.24263/2225-2924-2020-26-1-18.

Гусятинська, Н. А., Григоренко, Н. О., Гусятинський, М. В., Каленик, О. С., Штангеева, Н. І., Яремчук, М. В. (2021). *Спосіб отримання органічного харчового сиропу із соку сорго цукрового* (Патент України № 147898). Національний університет харчових технологій. <http://uapatents.com/4-27276-sposib-otrimannya-kharchovogo-siropu-iz-sukrovogo-sorgo.html>

Карпугіна, Д. Д., Фролова, Н. Е., Олійник, С. І. (2014). Обґрунтування перспективності використання цукрового сорго в технології оздоровчих ферментованих напоїв. *Харчова наука та технологія*, 8(6), 9—13. doi:10.15673/2073-8684.29/2014.33523.

Клим, О. (2021). *Дослідження блокуючої дії засвоєння нутрієнтів їжі і вплив на організм людини. «Інновації розвитку харчових технологій та індустрії гостинності у готельно-ресторанному бізнесі»*. Збірник тез доповідей II Всеукраїнської науково-практичної конференції. Тернопіль: ДВНЗ «Тернопільський коледж харчових технологій і торгівлі».

Купчик М. П. Рева, Л. П., Штангеева, Н. І. та ін. (2007). *Технологія цукру*. Лабораторний практикум НУХТ, 393.

Малюк, В. І., & Репецька, Г. Г. (2014). *Роль кальцію в організмі людини*. Матеріали Першого науково практичного семінару (10—14 листопада 2014 р., м. Трускавець). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). Київ: ДКЗ.

Марушко, Ю. В., Гишак, Т. В., & Асонов, А. О. (2019). Роль магнію в організмі людини та вплив зменшеного вмісту магнію на якість життя дітей із гастроєзофагеальною рефлюксною хворобою. *Современная педиатрия*, 1(97), 124—130. doi:10.15574/SP.2019.97.124.

Мотрук, Д. (2017). Роль мікроелементів у профілактиці та лікуванні артеріальної гіпертензії. *Ліки України*, 8(214), 43—44. doi:10.37987/1997-9894.2017.8(214).222432.

Найденко, В. М. (2020). *Продуктивність гібридів сорго зернового залежно від ширини міжряддя та удобрення в умовах лівобережного лісостепу України*. (Дис. канд. сільгосп. наук). Національний університет біоресурсів природокористування України. Київ.

Погожих, М. І., Головка, Т. М. (2017). Наукове обґрунтування аліментарного забезпечення гомеостазу та мінерального обміну організму людини. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, (1), 35—50.

Полумбрик, О. М., Унрод, В. І. (2019). *Антиоксидант індукований стрес і гіпоелементоз*. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Туристичний та готельно-ресторанний бізнес в Україні: проблеми розвитку та регулювання». Черкаси: ЧДТУ.

Рижих, А. С. (2018). *Біологічна роль в організмі людини макро-, мікро- та ультрамікро-елементів. Перспективні напрямки сучасної освіти та науки*. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів і студентів Донбаського державного педагогічного університету, учителів та учнів загальноосвітніх закладів. Слов'янськ: ДДПУ.

Сивак, Т. (2014). *Роль макро- та мікроелементів II групи періодичної системи Д. І. Менделєєва в роботі та життєдіяльності організму людини*. Матеріали VII Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя.

Штангєєва, Н. І., Чернявська, Л. І., Рева, Л. П. та ін. (2000). *Методи контролю харчових виробництв*. Лабораторний практикум Міністерство освіти і науки України, УДУХТ. Київ: УДУХТ, 240.

Costa, G. H. G., De Freitas, C. M., De Freitas, L. A., & Mutton, M. J. R. (2015). Effects of Different Coagulants on Sweet Sorghum Juice Clarification. *Sugar Tech.*, 17, 210—213. doi: 10.1007/s12355-014-0332-3.

Eggleston, G., Heckemeyer, M., Cyr, E. S., & Wartelle, L. (2016). Case Study: Commercialization of Sweet Sorghum Juice Clarification for Large-Scale Syrup Manufacture. *Sugar Tech.*, 18, 249—257. doi: 10.1007/s12355-015-0387-9.

Eggleston, G., Marsha, C., & Andrzejewski, B. (2013). New Commercially Viable Processing Technologies for the Production of Sugar Feed stocks from Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) for Manufacture of Biofuels and Bioproducts. *Sugar Tech.*, 15(3), 232—249. doi: 10.1007/s12355-013-0229-6.

Hryhorenko, N., Husiatynska, N., & Kalenyk, O. (2021). Substantiation of a rational method of purification of sugar sorghum juice in the technology of food syrup production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 263—276. doi: 10.24263/2304-974X-2021-10-2-5.

Husiatynska, N., Hryhorenko, N., Kalenyk, O., Husiatynskyi, M., & Teterina, S. (2021). Studying the process of extracting sugary substances from the stalks of sweet sorghum in the technology of making food syrups. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(11(112)), 17. doi: 10.15587/1729-4061.2021.237785.

Mazumdar, D., Poshardi, A., Ravinder, R., & Scranivasa, R. (2012). Innovative use of sweet sorghum juice in the beverage industry. *International Food Research Journal*, № 19(4), 1361—1366.

Ratnavathi, C. V., & Chavan, U. D. (2016). Chapter 5 — Sorghum Syrup and Other by Products. *Sorghum Biochemistry*. Academic Press, 253—310. doi: 10.1016/B978-0-12-803157-5.00005-8.

Sugar for decoration, fillings, confectionery and adding flavour. (2023). Взято з <https://www.nordzucker.com/en/sugar-expertise-products/sugar-for-the-food-industry/special-sugar>.

Umakanth, A. V., Kumar, A. A., Vermerris, W., & Tonapi, V. A. (2019). Sweet sorghum for bio-fuel industry. In *Breeding sorghum for diverse end uses*. Woodhead Publishing, 255—270. doi:10.1016/B978-0-08-101879-8.00016-4.

Willis, O. O., Mouti, M. E., Sila, D. N. Mwasaru, M., Thiongo, G., Murage, H., & Ojijo, N. O. (2013). Physico-Chemical Properties and Antioxidant Potential of Syrup Prepared from “Madhura” Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Cultivar Grown at Different Locations in Kenya. *Sugar Tech.*, 15, 263—270. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0222-0>.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF BREAD WITH OAT FIBER AND ANALYSIS OF ITS NUTRITIONAL VALUE

T. Silchuk, A. Riznyk

National University of Food Technologies

Key words:

Oat fiber
Casein
Glucano-delta lactone
Bread products
Nutritional value

Article history:

Received 11.05.2023
Received in revised form
25.05.2023
Accepted 12.06.2023

Corresponding author:

A. Riznyk
E-mail:
riznyk_nastya2707@ukr.net

Citation: Сильчук Т. А.,
Різник А. О. (2023). Удос-
коналення технології та
аналіз харчової цінності
хлібних виробів з вівся-
ного толокна. *Наукові пра-
ци НУХТ*, 29(3), 139—149.
DOI: 10.24263/2225-
2924-2023-29-3-13

ABSTRACT

One of the ways to improve the technology of bread production is to expand the recipe composition and improve biotechnological processes in dough.

The necessity of developing gluten-free bread products and substantiation the choice of basic and auxiliary raw materials was highlighted in the article. The use of hydrocolloidal improver and proteins of animal origin was scientifically substantiated to improve the structure of gluten-free dough and the quality of bread products. The effectiveness of the combined use of the selected improvers in the technology of bread products with the use of fiber was proved. The regularities of the influence of the selected formulation components on the properties of the dough and the quality characteristics of the finished bread were determined.

On the basis of the conducted research and production tests, the technological regime for the production of bread with oat fiber was established. The regularities of the influence of the studied raw materials on the course of technological processes became the basis for the development of recipes for "Oatmeal" and "Oatmeal improved" bread. Products made with oat fiber contained 18% more protein compared to the control sample. The inclusion of casein in the recipe of "Oatmeal improved" bread product allowed to increase the content of essential amino acids and bring the mass fraction of isoleucine and tryptophan closer to their content in the "ideal" protein.

The developed bread products with oat fiber had a better colored crust, more elastic crumb, and a better flavor and aroma. The obtained sensory parameters were evaluated by the expert method and displayed using quality profiles of finished products. The results confirmed the feasibility of improving a technology of bread products for special purpose.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА АНАЛІЗ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ХЛІБНИХ ВИРОБІВ З ВІВСЯНОГО ТОЛОКНА

Т. А. Сильчук, А. О. Різник

Національний університет харчових технологій

Одним із напрямків удосконалення технології виробництва хлібних виробів є розширення рецептурного складу та покращення біотехнологічних процесів.

У статті висвітлено необхідність розроблення аглютонових хлібних виробів та обґрунтовано вибір основної й допоміжної сировини. Для поліпшення структури аглютонового тіста, підвищення якості хліба підтверджено ефективність сумісного використання поліпшувача гідроколоїдної дії та білків тваринного походження. Визначено закономірності впливу підібраних рецептурних компонентів на властивості тіста та якісні характеристики готових хлібних виробів.

На основі проведених досліджень і виробничих випробувань встановлено технологічний режим виготовлення аглютонових хлібних виробів з вівсяного толокна, збагачених молочними білками, за рахунок включення казеїну та глюкано-дельта-лактону. Закономірності впливу досліджуваної сировини на перебіг технологічних процесів стали підґрунтям для розробки рецептур хліба «Вівсяний» і «Вівсяний-покращений». Вироби з вівсяного толокна містять на 18% більше білків порівняно з контрольним зразком, що пов'язано з внесенням до їх складу казеїну. Включення казеїну в рецептуру хлібного виробу «Вівсяного-покращеного» дало змогу збільшити в ньому вміст незамінних амінокислот і наблизити масову частку ізолейцину та триптофану до їх вмісту в «ідеальному» білку.

Розроблені хлібні вироби на основі вівсяного толокна мають краще забарвлення скоринки, більш еластичну м'якушку, виражений смак та аромат. Отримані органолептичні показники оцінювали експертним методом і відображали за допомогою профілограм якості готових виробів. Опрацьовані результати підтверджують доцільність розроблення технології хлібних виробів спеціального призначення.

Ключові слова: вівсяне толокно, казеїн, глюкано-дельта-лактон, хлібні вироби, харчова цінність.

Постановка проблеми. Через несприятливий вплив навколишнього середовища, зростанням генетичних і алергічних захворювань розробка продуктів для дієтичного та функціонального харчування є одним з основних завдань сучасної харчової промисловості. Згідно зі статистичними даними найбільшу частку серед таких захворювань займають: серцево-судинні, ожиріння, цукровий діабет, дефіцит білка, целиакія, фенілкетонурія. Варто відмітити, що за останні 5 років відсоток хворих на глютену ентеропатію суттєво збільшився, тому на світовому ринку вже не перший рік популяризуються та просуваються безглютенового харчування, що адаптують і вітчизняні виробники.

Хліб залишається одним із основних джерел забезпечення організму поживними речовинами. При виробництві аглютонового хліба використовується борошно зі злаків, яке з огляду на особливості хімічного складу не містять білків, що

утворюють клейковину. Жоден із видів безглютенової борошняної сировини не можна вважати еквівалентним за функціонально-технологічними властивостями пшеничному борошну. Безглютенові зернові культури мають високий технологічний потенціал, а борошно на їх основі характеризується доброю поживною та харчовою цінністю, адже для його отримання, зазвичай, застосовують обойний спосіб помелу. До того ж у борошні допускається наявність природних пігментів, тому що рецептурою хлібних виробів може бути передбачено використання іншої сировини з власним оригінальним кольором.

Існуючі технології хлібних виробів передбачають використання крохмалю різного походження, зокрема рисового, кукурудзяного тощо. Адже неможливо гарантувати готовий хліб із задовільними показниками якості, оскільки відсутність структуроутворюючих білків в аглутеновій сировині зумовлює формування тіста з незадовільними структурно-механічними характеристиками. Зважаючи на це, актуальним завданням для науковців, професіоналів ресторанного господарства та хлібопекарської індустрії є покращення якості аглутенових хлібних виробів шляхом використання нетрадиційних рецептурних компонентів, які забезпечать стабільність їх структури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ході розробки рецептур безглютенових хлібних виробів найбільш пильної уваги заслуговують ті культури, які мають досить нейтральні смак та аромат, що дає змогу використовувати їх без суттєвих кількісних обмежень у рецептурі зі збереженням високих органолептичних показників (Marco, & Rosell, 2008). На сьогодні такі обмеження існують у технології виробництва пшеничного хліба.

Вівсяним борошном і продуктами переробки вівса замінюють пшеничне борошно у кількості до 20% (Шевченко, Літвинчук, & Дробот, 2023) за умов підвищеної вологості тіста; іноді його заварюють водою (Hetman, Mykhonik, Kuzmin, & Shevchenko, 2021) або знежиреним молоком (Thompson, 2003).

Рисове борошно часто використовують замість пшеничного (Дробот, Шевченко, & Літвинчук, 2021). Його додавання до пшеничного борошна сприяє підвищенню газоутворення в тісті та збільшенню кількості утворених та зброджених цукрів (Shevchenko, & Drobot, 2022). Раціональним дозування — до 8%, також рисове борошно вводять у вигляді заварки в концентраціях до 20% (Медвідь, Шидловська, & Доценко, 2019); більш високі кількості (40% від маси борошняної сировини) потребують внесення добавок — комплексних покращувачів або ферментних препаратів (Mor, & Heinbockel, 2006).

Для отримання гречаного борошна застосовують різні способи (Changgao та ін., 2022). Оскільки борошно має високу харчову цінність, то вводять не більше 10...15% на заміну пшеничного, або не більше 16% при одночасному збільшенні вологості тіста до 48 % у виробництві житньо-пшеничного хліба. Для створення дієтичних продуктів кількість гречаного борошна збільшується до 25% (Любачова, & Шаніна, 2013); пропонують термічну обробку гречки за 180...220 °C (Shapina, Dugina, Zverev, Gavrish, Domahina, & Lobacheva, 2012).

Вівсяне толокно — продукт переробки вівса, що відрізняється високим ступенем засвоюваності, оскільки містить до 10% водорозчинних речовин, до 15% денатурованих білків і майже повністю клейстеризований крохмаль. Цінність толокна також полягає в тому, що до його складу входять: лігнін — виводить з

організму шлаки, холестерин і токсини; біофлавоноїди — забезпечують профілактику онкологічних захворювань і позитивно впливають на імунітет; аланін — зміцнює імунну систему і регулює цукор в крові; цистеїн — захищає від радіації (Різнюк, Сильчук, Цирульнікова, & Тищенко, 2021). Питання, чи є овес безпечним для хворих на целиакію, було предметом дискусій протягом декількох десятиріч. Запасний білок вівса авенін може спричиняти певні проблеми для авенінчутливих пацієнтів, частина з яких можуть бути целиаками (Kadan, Robinson, Thibodeaux, & Pepperman, 2001). Проте численні наукові дослідження американських вчених доводять, що помірні кількості вівса є безпечними для дорослих, хворих на целиакію. Інше дослідження (Hoffenberg та ін., 2000) щодо безпеки вівса для дітей з первинною діагностикою целиакії доводить, що вживання ними вівса протягом шести місяців є безпечним. Наразі переважна кількість авторитетних вчених і лікарів підтримують думку про те, що овес може бути небезпечним тільки тоді, коли зернова партія містить домішки зерна пшениці. Тому в безглютеновому харчуванні рекомендовано застосовувати тільки сертифікований для цього овес.

Пошук добавок-поліпшувачів структури безглютенових хлібних виробів проводився, зважаючи на розуміння фундаментального механізму утворення аглютенного тіста. Згідно із сучасними науковими уявленнями, за відсутності гідратованої клейковинної мережі одним із важливих чинників оптимізації та стабілізації процесу утримання газу, утвореного в безглютеновому тісті, є достатня кількість води для гідратації біополімерів тіста для набуття тістом потрібної в'язкості (Riemsdijk, Goot, Hamer, & Boom, 2011). Підвищити гідратаційну здатність можна за допомогою включення білкових речовин з вираженими драглеутворювальними властивостями (Лобачова, 2018). З огляду на це, другий фактор — це додавання білків тваринного походження. Окрім посилення водоутримувальної здатності тіста, цей крок дає змогу комбінувати білки тваринного походження з рослинними білками толокна. А урізноманітнення амінокислотного складу білків тіста безперечно сприятиме ефективній ферментній обробці (Gallagher, Gormley, & Arendt, 2003). Як третій фактор запропоновано застосування поліпшувача гідроколоїдної дії — глюкано-дельта-лактону (ГДЛ), здатного до утворення поперечних зв'язків у білкових макромолекулах.

Мета дослідження: підтвердження можливості сумісного застосування глюкано-дельта-лактону та казеїну в технології хліба з вівсяного толокна та аналіз харчової цінності розроблених виробів.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження була технологія безглютенового хліба. Як предмет дослідження обрано вівсяне толокно торговельної марки «Козуб», казеїн міцелярний від виробника ТОВ «УКРМОЛПРОДУКТ» та глюкано-дельта-лактон компанії «ХІМПОСТАЧАННЯ» (Харків). Хлібні вироби виготовляли безопарним способом з повною заміною глютенвмісної сировини.

Між можливими двома варіантами створення аглютенних хлібних продуктів (1 — з борошна одного виду; 2 — з суміші декількох) обрано перший напрям з міркувань якісного підвищення харчової та біологічної цінності готової продукції, розширення сировинної бази та асортименту хліба з альтернативної аглютенної сировини. При розробці та впровадженні нових хлібних виробів визначали їх біологічну та харчову цінність.

За національним стандартом ДСТУ 4518:2008 (п. 5.15.1), енергетичну цінність хлібних виробів у маркуванні зазначали у ккал (за міжнародною системою СІ), беручи до уваги, що 1 ккал дорівнює 4,184 кДж. Аналіз вмісту амінокислот у готових виробах проводили за стандартною методикою (Згуровський, & Панкратова, 2005). Амінокислотний скор (ACi , %) розраховували як відношення кількості кожної незамінної амінокислоти в досліджуваному зразку до кількості цієї амінокислоти в «ідеальному» («еталонному») білку.

Органолептичні показники якості розроблених зразків проводили шляхом дегустації з подальшим оцінюванням за 5-бальною шкалою. Комплексну оцінку якості виробів проводили із застосуванням методів кваліметрії згідно з ДСТУ-П 8536:2015. Для знаходження коефіцієнтів вагомості застосовували експертний метод. Переведення абсолютних показників якості у відносні здійснювали з використанням кривої бажаності Харінгтона. Розрахунковим методом визначали харчову та енергетичну цінність розроблених хлібних виробів.

Статистичне оцінювання результатів проводилося методом послідовного регресійного аналізу за допомогою Microsoft Excel.

Викладення основних результатів дослідження. На підставі аналізу результатів досліджень, проведених раніше (Різник, Сильчук, Цирульнікова, & Тищенко, 2021), обґрунтовано склад рецептурних інгредієнтів та їх оптимальні дозування для забезпечення необхідної інтенсивності бродіння вівсяного тіста та його покращених структурно-механічних властивостей, а також встановлено параметри основних стадій технологічного процесу виробництва хлібних виробів.

Закономірності впливу досліджуваної сировини на перебіг процесів дозрівання тіста та формування його реологічних властивостей стали підґрунтям для розробки рецептур хліба «Вівсяний» і «Вівсяний-покращений» (табл. 1).

Таблиця 1. Рецептури хлібних виробів з вівсяного толокна

Найменування сировини	Витрати сировини, кг	
	Хліб «Вівсяний»	Хліб «Вівсяний-покращений»
Толокно вівсяне	100	100
Дріжджі сухі	3,8	3,8
Сіль кухонна	1,5	1,5
Маргарин столовий	6,2	6,2
Сухе молоко	3,5	3,5
Цукор	11,0	11,0
Казеїн	—	6,2
Глюкано-дельта-лактон	1,5	1,0
Разом:	127,5	133,2

Шляхом експериментальних досліджень удосконалено технологію та встановлено оптимальні параметри технологічного процесу приготування тістових напівфабрикатів з вівсяного толокна (табл. 2).

Згідно з встановленими раніше закономірностями тісто з досліджуваною сировиною для виробництва хліба «Вівсяний» і «Вівсяний-покращений» має вищу початкову кислотність порівняно з контролем, значно краще сумарне газоутворення, кислотонакопичення за період бродіння тістових напівфабрикатів.

Таблиця 2. Параметри технологічного процесу приготування тіста

Показник	Контроль (без добавок)	Хліб «Вівсяний»	Хліб «Вівсяний- покращений»
Вологість, %	54	52	52
Титрована кислотність, град.			
початкова	1,2	2,3	2,31
кінцева	1,5	2,8	2,8
Тривалість бродіння, хв	50	45	45
Газоутворення за час бродиння, см ³ /100 г	82	107	114
Питомий об'єм (в кінці бродиння), см ³ /г	1,02	1,33	1,42

Тривалість дозрівання тіста за розробленими рецептурами безглютенового хліба скорочується на 10%, якщо порівняти з контрольним зразком без застосування казеїну та структуроутворюючих компонентів, що пов'язано з кращим забезпеченням цукрами процесу спиртового бродіння та активізацією перебігу процесу.

Експериментальним шляхом відпрацьовано та сформовано ключові стадії виробництва вівсяних хлібних виробів. Так, на першому етапі здійснюють підготовку сировини до виробництва. Замішування тіста проводять на основі вівсяного толокна, маргарину, сухого молока, казеїну та ГДП. Тісто доцільно готувати безопарним способом з розрахунковою вологістю 52%. Тривалість замішування тіста становила 8...10 хв. Слід зазначити, що за розробленою технологією тісто характеризується вищою в'язкістю, що дає змогу формувати його на тістоподільниках з метою покращення технологічності виробництва.

Хімічний склад хлібних виробів є невід'ємною частиною їх споживчої цінності. Для характеристики його корисності для організму застосовують термін «харчова цінність», яка інтегрально відображає повноту корисних властивостей продукту, зокрема забезпеченості фізіологічних потреб людини в основних харчових речовинах та енергії (Riznyk, Sylchuk, Tsyrlukova, & Zuiko, 2021). Розрахунки вмісту поживних речовин у розроблених виробках проведено за відомою методикою з використанням літературних даних щодо хімічного складу сировини (табл. 3).

Таблиця 3. Харчова та енергетична цінність готових хлібних виробів

Складові	Контроль (без добавок)	Хліб «Вівсяний»	Хліб «Вівсяний- покращений»
Білки, г	5,5	8,5	10,2
Жири, г, в т. ч.:	3,7	4,42	4,42
фосфоліпиди	0,54	0,52	0,52
Вуглеводи, г	49,0	55,7	55,17
Харчові волокна, г	1,42	1,42	1,42
<i>Вітаміни, мг/100г</i>			
В ₁ (тіамін)	0,022	0,024	0,024
В ₂ (рибофлавін)	0,23	0,27	0,28
РР (ніацин)	0,24	0,25	0,27

Е (токоферол)	—	0,02	0,02
Холін	53,4	57,1	57,3
<i>Мінеральні речовини, мг/100 г</i>			
Na	348,2	350,4	350,6
K	23,35	26,4	26,7
Ca	31,3	31,3	55,2
Mg	—	73,8	75,1
P	57,3	72,21	64,8
Fe	0,08	0,63	0,81
Енергетична цінність, ккал	251,3	296,6	301,3

На основі аналізу хімічного складу дослідних та контрольного зразків вівсяного хліба встановлено, що використання в технології розроблених виробів досліджуваних поліпшувачів та сировини на мінеральний склад практично не впливає, що обумовлено здатністю цих рецептурних компонентів покращувати якісні характеристики готового хліба при внесенні в незначних кількостях.

Хліб «Вівсяний-покращений» має на 18% вищий вміст білків порівняно з контрольним зразком, що пов'язано з внесенням до його складу казеїну. Збільшення вмісту харчових волокон у поліпшених хлібних виробках відбуваються за рахунок використання ГДЛ.

Хімічний склад розроблених виробів розраховували за інструкціями Укрхлібпрому 1-158.00389676.012:2008 «Розрахунок поживної та енергетичної цінності хлібобулочних виробів» та 1-158.00389676.018:2018 «Розрахунок вмісту насичених жирів, цукрів та солі в хлібобулочних і борошняних кондитерських виробках».

Дослідження хімічного складу готових виробів підтвердило значне зростання вмісту білків у хлібі «Вівсяний-покращений». Експериментальним шляхом одержано дані біологічної цінності, що відображені у вигляді табл. 4.

Таблиця 4. Біологічна цінність готових хлібних виробів

Незамінні амінокислоти	Склад «еталонного» білка, мг/г	Контроль (без добавок)			Хліб «Вівсяний-покращений»		
		Вміст		Скор, %	Вміст		Скор, %
		мг/100г хліба	мг/г білка		мг/100г хліба	мг/г білка	
Валін	50	358	57,7	115,4	510	57,9	115,8
Ізолейцин	40	253	40,8	102	354	47,8	119,5
Лейцин	70	734	118,3	169	821	122,2	174,1
Лізин	55	107	17,2	31,2	114	18,3	33,5
Метіонін+ цистин	35	323	52,1	148,8	379	61,1	174,2
Треонін	40	233	37,5	93,7	269	43,3	108,2
Триптофан	10	84	13,5	135	93	14,5	145
Фенілаланін+ тирозин	60	93	8,5	14,2	122	13,8	23,0

Лімітуюча амінокислота, скор		Фенілаланін+тирозин – 14,2%	Фенілаланін+тирозин – 23,0%
------------------------------	--	-----------------------------	-----------------------------

Аналіз даних табл. 4 показує, що включення казеїну в рецептуру хлібного виробу «Вівсяного-покращеного» дає змогу наблизити в його складі масову частку таких незамінних амінокислот, як ізолейцин, триптофан, до складу «ідеального» (еталонного білка). А лейцин і валін перевищують межу у 100%.

За результатами визначення біологічної цінності розробленого хліба встановлено, що лімітуючою амінокислотою є фенілаланін і тирозин, скор яких становить 23%. Порівнюючи з контрольним зразком, амінокислотний скор хліба «Вівсяний-покращений» є вищим на 11%.

Невід’ємними показниками якості хлібних виробів є органолептичні (зовнішній вигляд, колір і стан скоринки, його форма, стан м’якушки по пористості, еластичності, смак та аромат).

Бальна оцінка виробів, виготовлених за розробленими рецептурами, була проведена дегустаційною комісією на базі Національного університету харчових технологій. Бальну оцінку хлібних виробів проводили за 100-бальною шкалою, результати оцінки були оброблені методом математичної статистики. Кожний показник якості виробів оцінювали за п’ятибальною системою з урахуванням коефіцієнта його вагомості, який встановлювали методом експертної оцінки за участі дегустаторів. Сума коефіцієнтів є постійною величиною та дорівнює одиниці. За результати бальної оцінки побудовано профілографи якості (рис. 1).

На основі результатів експертного оцінювання встановлено, що порівняно з контролем питомий об’єм розроблених хлібних виробів незначно менший через зниження газотримувальної здатності тістової системи з вівсяним толокном, казеїном і ГДЛ, але оскільки основною метою дослідження було підвищення біологічної цінності аглютонових хлібних виробів, використання запропонованої сировини є доцільним. Водночас розроблені вироби на основі вівсяного толокна та з додаванням казеїну і ГДЛ мають краще забарвлену скоринку, більш еластичну м’якушку, краще виражений смак та аромат. Ці показники обумовлюють високі споживчі властивості аглютонових виробів, виготовлених за розробленими рецептурами.

Результати проведених досліджень стали підґрунтям для відпрацювання розробленої технології в реальному часі та в умовах діючого підприємства. Виробничі випробування проведено на базі столичного закладу ресторанного господарства з обов’язковим дотриманням всіх вимог до виробництва та реалізації аглютонової продукції.

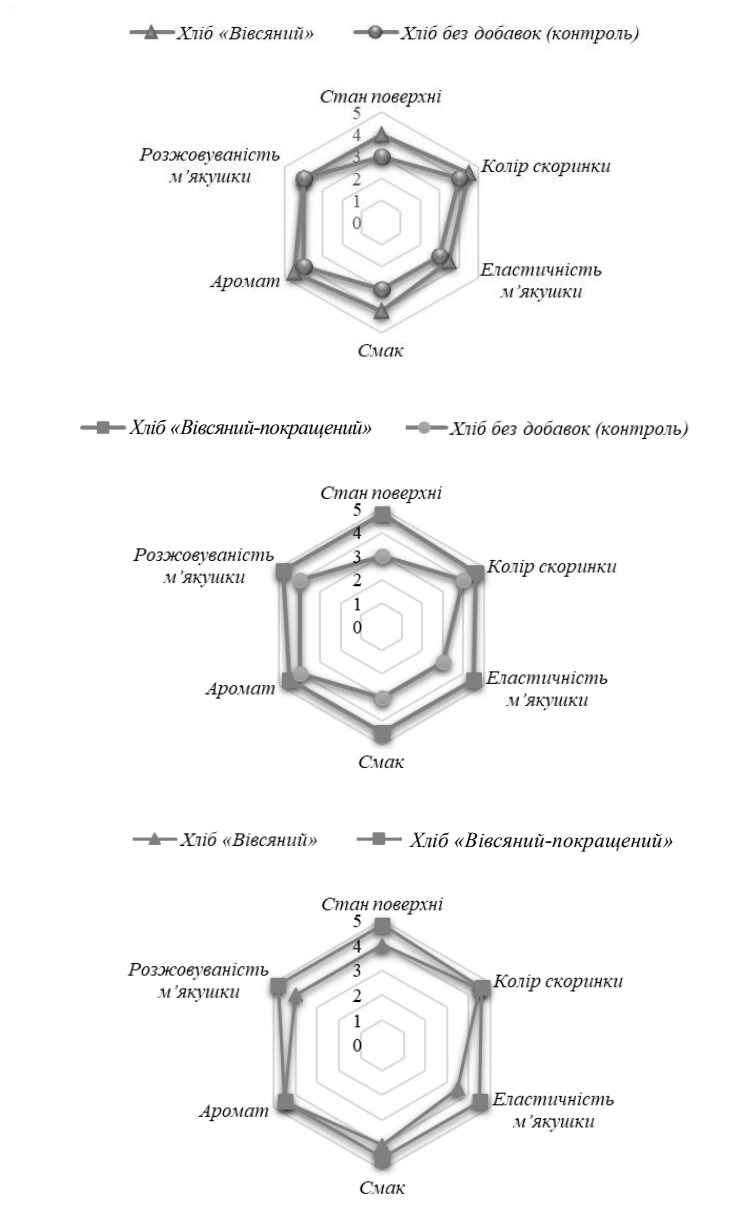


Рис. 1. Профілограми якості розроблених хлібних виробів

Висновки

У результаті проведених експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність сумісного використання глюконо-дельта-лактону та казеїну в технології хліба на основі вівсяного толокна та доведено, що їх включення до рецептури сприяє покращенню якісних характеристик готових хлібних виробів.

На основі проведених експериментів та виробничих випробувань розроблено рецептури та технологічний режим виготовлення аглютонових хлібних виробів з вівсяного толокна, збагачених молочними білками, за рахунок включення казеїну та ГДЛ.

Розгорнута експертна оцінка органолептичних показників свідчить, про високу якість розроблених хлібних виробів з вівсяного толокна, збагачених білком (на 18% вищий вміст білків, до того ж, амінокислотний скор хліба «Вівсяний-покращений» є вищим на 11%, порівняно з контрольним зразком), харчовими волокнами та макроелементами. Показник харчової цінності розроблених виробів перевищує на 19%.

Опрацьовані дані та позитивні результати апробації розробленої технології в умовах реального підприємства підтверджують актуальність та доцільність проведеного дослідження.

Література

Дробот В. І., Шевченко А. О., Літвинчук С. І. (2021). Вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба. *Наукові праці НУХТ*. 27(5). 114—122 <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-5-15>.

Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. (2005). *Системний аналіз: проблеми, методологія, визначення*. К.: Наукова думка. 743.

Лобачова Н. Л. (2018). Використання добавок регуляторів структури безглютенового тіста та готових виробів. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 9 (1285), 207—211. DOI:10.20998/2413-4295.2018.09.30.

Лобачва Н. Л., Шаніна О. М. (2013). *Технологічні аспекти формування структури виробів з безглютенової борошняної сировини*. Матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв»: 7 листопада 2013 р.: Тези доповідей. Х. 71—79.

Медвідь І. М., Шидловська О. Б., Доценко В. Ф. (2019). Дослідження впливу гідрокоолідів на структурно-механічні властивості тіста і якість безглютенового хліба. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 30 (2), 104—110. DOI:10.32838/2663-5941/2019.4-2/17.

Різняк А. О., Сильчук Т. А., Цирульнікова В. В., Тищенко О. М. (2021). Обґрунтування вибору вівсяного толокна для виробництва хлібних виробів у закладах ресторанного господарства. *Наукові праці НУХТ*, 27 (1), К.: НУХТ, 89—97. DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-1-21.

Шевченко А. О., Літвинчук С. І., Дробот В. І. (2023). Вплив вівсяних висівок в поєднанні з фосфоліпідами на перерозподіл структурних груп в тісті та хлібі з пшеничного борошна. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(3), 38—50. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230203.05>.

Changgao, S., Olkhovikov, O., Xiaojin, G., Marynin, A., Sichen, Z., Shevchenko, A., Botong, S., Yue, Z. (2022). Research and comparative analysis of the qualitative parameters of food powders produced from grain raw materials using an improved jet mill. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(68), 36—43. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.271557>.

Gallagher E. Gormley T. R., Arendt E. K. (2003). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*. 15, 143—152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012>.

Hetman I., Mykhonik L., Kuzmin O., Shevchenko A. (2021). Influence of spontaneous fermentation leavens from cereal flour on the indicators of the technological process of making wheat bread. *Ukrainian Food Journal*. 10(3), 492—506. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-6>.

Hoffenberg E. J., Haas J., Drescher A., Barnhurst R., Osberg I., Bao F., Eisenbarth G. (2000). Atrial of oats in children with newly diagnosed celiac disease. *The Journal of Pediatrics*. 137, 361—366. DOI: 10.1067/mpd.2000.109003.

Kadan R. S., Robinson M. G., Thibodeaux D. P., Pepperman A. B. (2001). Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *Journal of Food Science*. 66 (7), 940—944. DOI.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb08216.x.

Marco C., Rosell C. M. (2008). Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*. 88, 94—103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.018>.

Mor M. M., Heinbockel M., Dockery P., Ulmer H. M., Arendt E. K. (2006). Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Journal Citation Reports*. 83 (1), 18—36. Взято з: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0028>.

Riznyk A., Sylchuk T., Tsyrluknikova V., Zuiko V. (2021). Sorption properties of bread based on oatmeal. *Ukrainian Food Journal*. 10 (2), 361—374. DOI: 10.24263/2304-974X-2021-10-2-12.

Rosell C. M. (2009). Enzymatic manipulation of gluten-free breads. *Gluten Free Food Science and Technology, London*. 83—98. DOI:10.1002/9781444316209.ch6.

Shanina O., Dugina K., Zverev V., Gavrish T., Domahina M., Lobacheva N. (2012). Production challenge soft-enriched flour products. *Materials of the III International and Practice Conferenc. «European Science and Technology»*. Munich, Germany.1. 248—252. Взято з: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/2413-4295.2018.09.30/124378>.

Shevchenko, A., Drobot, V. (2022). Use of rice flour in wheat bread technology. *EUREKA: Life Sciences*, 6, 44—51. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2022.002677>.

Thompson T. (2003). Oats and gluten-free diet. *Journal of the American Dietetic Association*. 103, 376—379. DOI: 10.1053/jada.2003.50044.

THE EFFECT OF RICE PROTEIN CONCENTRATE IN COMBINATION WITH PHOSPHOLIPIDS ON THE QUALITY AND NUTRITIONAL VALUE OF WHEAT BREAD

A. Shevchenko, O. Fursik

National University of Food Technologies

Key words:

Bread
Rice protein concentrate
Whole wheat flour
Dough
Nutritional value

Article history:

Received 11.05.2023
Received in revised form
25.05.2023
Accepted 07.06.2023

Corresponding author:

A. Shevchenko

E-mail:

Nastyusha8@ukr.net

Citation: Шевченко А. О., Фурсік О. П. (2023). Вплив концентрату рисового протеїну в поєднанні з фосфоліпідами на якість і харчову цінність пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 150—158.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-14

ABSTRACT

Bakery products made from wheat flour have a low protein content. In addition, it is inferior and absorbed at a low level. The solution to this problem can be the introduction of sources of complete proteins of vegetable and animal origin into the formulation of such products. However, animal proteins can be allergens, which will affect the consumers health. Therefore, concentrates, isolates and hydrolysates of proteins of vegetable origin can be an alternative, in particular, obtained from rice. Rice protein, which is mainly extracted from rice bran or milled rice by enzymatic or alkaline methods, was found to be hypoallergenic.

Rice protein concentrate contained 6.6 times more protein than premium wheat flour. The protein content in bread with this raw material increased by 12.7-86.1% with an increase in the dosage of rice protein concentrate. The degree of providing the daily need for protein when using the daily norm of bread was at the level of 25—41%.

The addition of protein concentrate to the bread recipe improved the dimensional stability of the products. The decrease in specific volume by 4.5—30.8% and porosity of bread samples when adding rice protein concentrate can be explained by the fact that the proteins of this raw material do not contain gluten proteins, and therefore do not contribute to the formation of a developed gluten framework. At the same time, the porosity structure remained uniform.

At the same time, the taste of the products improved, and the color of the crust acquired a brown shade due to the presence of more amount of proteins, the amino acids of which, reacting with the flour's own sugars in the dough under the influence of temperature, caused a more intense color of the crust. Thus, bread made with the studied raw materials had good consumer properties.

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАТУ РИСОВОГО ПРОТЕЇНУ В ПОЄДНАННІ З ФОСФОЛІПІДАМИ НА ЯКІСТЬ І ХАРЧОВУ ЦІННІСТЬ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

А. О. Шевченко, О. П. Фурсік

Національний університет харчових технологій

Хлібобулочні вироби з пшеничного борошна мають невисокий вміст білка. Крім того, він є неповноцінним і засвоюється на низькому рівні. Вирішити цю проблему можна шляхом внесення в рецептуру таких виробів джерел повноцінних білків рослинного і тваринного походження. Однак тваринні білки можуть бути алергенами, що впливатиме на стан здоров'я споживачів, тому альтернативою можуть бути концентрати, ізоляти та гідролізати протеїнів рослинного походження, зокрема отриманого з рису. Рисовий білок, який в основному екстрагується з рисових висівок або подрібненого рису ферментативними або лужними методами, був визнаний гіпоалергенним.

Концентрат рисового протеїну містить у 6,6 раза більше білка, ніж пшеничне борошно вищого сорту. Вміст білка в хлібі з цієї сировиною підвищився на 12,7—86,1% зі збільшенням дозування концентрату рисового протеїну. Ступінь забезпечення добової потреби в білку при вживанні добової норми хліба знаходився на рівні 25—41%.

Внесення концентрату протеїну в рецептуру хліба сприяє покращенню формостійкості виробів. Зниження питомого об'єму на 4,5—30,8% та пористості зразків хліба при додаванні концентрату рисового протеїну можна пояснити тим, що білки цієї сировини не містять клейковинних білків, а отже, і не сприяють формуванню розвиненого клейковинного каркасу. При цьому структура пористості залишається рівномірною та дрібною.

Водночас покращується смак виробів, а також забарвлення скоринки набуває коричневого відтінку завдяки наявності більшої кількості білків, амінокислоти яких, вступаючи в реакцію з власними цукрами борошна в тісті, під дією температури надають більш інтенсивного забарвлення скоринці. Хліб, виготовлений з досліджуваною сировиною, має добрі споживчі властивості.

Ключові слова: хліб, концентрат рисового протеїну, інтегральний скор, тісто, харчова цінність.

Постановка проблеми. Хлібобулочні вироби з пшеничного борошна мають невисокий вміст білка (Хуе, Matros, Mock, & Mühling, 2019). Крім того, він є неповноцінним і засвоюється на низькому рівні (Litvynchuk та ін., 2022). Вирішенням цієї проблеми може бути внесення в рецептуру таких виробів джерел повноцінних білків рослинного й тваринного походження. Однак тваринні білки можуть бути алергенами, що впливатиме на стан здоров'я споживачів, тому альтернативою можуть бути концентрати, ізоляти та гідролізати протеїнів рослинного походження, зокрема отриманого з рису.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рисовий білок, який в основному екстрагується з рисових висівок або подрібненого рису ферментативними або лужними методами, був визнаний гіпоалергенним (Reche та ін., 2010).

Відомо отримання білкових концентратів з комерційно доступних нестабілізованих і термостабілізованих рисових висівок шляхом лужної екстракції та ізоелектричного осадження. Стабілізовані рисові висівки мали нижчу здатність до екстракції білка при будь-якому розмірі частинок (75—150 мкм). Як нестабілізований білковий концентрат рисових висівок, так і стабілізований білковий концентрат рисових висівок продемонстрували максимальну розчинність азоту при рН 8,0—71,5% білка (нестабілізований) і 50,9% білка (стабілізований) та відмінності у вмісті амінокислот. Денатурація білка внаслідок комерційної термостабілізації погіршувала екстрагування білків і впливала на їхню якість (Gnanasambandam, & Heltiarachchy, 1995)

Рисовий протеїн має високу харчову цінність, є джерелом крохмалю, мінеральних солей, вітамінів, харчових волокон. Вміст білка в рисі порівняно невеликий (близько 3%). Однак білки рису визнано високопоживними, гіпоалергенними та особливо корисними для споживання людиною. Крім того, антиоксидантні танутрицевитичні властивості рису пов'язані зі зниженням ризику гіперхолестеринемії (Wang, Li, Liang, & Yang, 2016).

Рис і продукти його переробки широко використовують при виготовленні безглютенових виробів, оскільки білкові речовини цієї сировини не містять глютен. Досліджено можливість використання білкового та білково-кальцієвого концентратів з білого та коричневого рису в технології безглютенового масляного кексу. Спосіб виділення рисових білкових концентратів включає оброблення борошна амілазою та ксиланазою (ферментний препарат «Фунгаміл Супер АХ» фірми «Novozymes», Данія) з подальшим екстрагуванням білків розчиненою соляною кислотою в присутності цитрату кальцію. Також проводилась додаткова модифікація отриманого концентрату білка методом обмеженого протеолізу ферментним препаратом Protamex. Отримані рисові концентрати характеризувались високою піноутворювальною здатністю та стабільністю піни, що дало змогу використовувати їх у кількості 50% до маси яєчного меланжу в технології масляного кексу для підвищення його біологічної цінності та структурно-механічних показників якості (Медвідь, Шидловська, Доценко, & Федоренко, 2017).

У технологіях пшеничного хліба продукти переробки рису не так широко використовуються, оскільки вважається, що вони негативно впливають на технологічний процес виготовлення хлібобулочних виробів (Дробот, Шевченко, & Літвинчук, 2021).

Сировину, багату на білок, рекомендують споживати в поєднанні з ліпідною складовою. Перспективною добавкою, яка не лише є цінним джерелом фосфатидилхоліну, а й здатна діяти як емульгатор і позитивно впливати на технологічний процес виготовлення хліба, є соняшниковий лецитин (Stremmel, Vural, Evliyaoglu, & Weiskirchen, 2021).

Мета дослідження: визначити вплив концентрату рисового протеїну в поєднанні з соняшниковим лецитином на показники якості пшеничного хліба та його харчову цінність.

Матеріали і методи. *Підготовка зразків.* Для досліджень використовували борошно пшеничне вищого сорту, лецитин соняшниковий з вмістом фосфатидилхоліну 95,3%, концентрат рисового протеїну.

Зразки тіста готували безопарним способом з додаванням пресованих пекарських дріжджів і солі. До маси борошна додавали лецитин у кількості 3%. Для визначення раціонального дозування концентрату рисового протеїну його додавали в кількості 4%, 8% та 16% до маси борошна з розрахунку забезпечення 20, 30 та 40% добової потреби в білку. Контрольним був зразок без добавок.

Питомий об'єм хліба. Метод базується на витісненні зразком хліба об'єму зерна, еквівалентному його питомому об'єму. На початковому етапі визначають контрольний об'єм зерна, необхідний для подальших вимірювань. Для цього в порожню чашу приладу засипають зерно, надлишки знімають ребром плоского предмету в приймальну ємність приладу і видаляють через нижній отвір. Після цього зависі основної ємності із зерном відкриваються вручну і через отвір поміщаються в ковш. Це зерно використовується для визначення. В основну ємність засипають невелику кількість зерна, на нього кладуть хліб, а решту зерна закладають понад ємність. Надлишок зерна видаляють ребром плоского предмета і засипають у приймальну ємність, а потім, відкривши засувку, — у мірний циліндр. Об'єм зерна в циліндрі (см³) дорівнює об'єму хліба. Вимірювання проводять двічі, відхилення між паралельними визначеннями не повинні перевищувати 5% (Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022).

Питомий об'єм хліба визначається діленням об'єму хліба на його масу і виражається з точністю до 1 см³/100 г (Zhu, Sakulnak, & Wang, 2016).

Пористість хліба. Пористість хліба відображає об'єм пор у певному об'ємі м'якушки, виражений у відсотках до загального об'єму (Verheyen, Albrecht, Elgeti, Jekle, & Becker, 2015).

Вміст основних нутрієнтів у хлібі. Вміст загального білка. 1 г м'якушки хліба гідролізували 15 мл концентрованої сірчаної кислоти, що містить дві таблетки мідного каталізатора, у термоблоці при 420 °C протягом 2 годин. Після охолодження H₂O додавали до гідролізатів перед нейтралізацією та титруванням (Mæhre, Dalheim, Edvinsen, Elvevoll, & Jensen, 2018).

Вміст жиру. М'якушку хліба екстрагують протягом 6—24 год для виділення жирів. Після завершення екстракції розчинник випаровується, а сума ліпідів, що залишилися, вимірюється (López-Bascón, & de Castro, 2020).

Клітковина. Визначають ферментативно-гравіметричним методом. Кількість клітковини в м'якушці хліба розраховували як масу залишку мінус масу білка та золи (McCleary та ін., 2012).

Забезпечення добової потреби в основних нутрієнтах. Інтегральний скор був розрахований для оцінки забезпечення добової потреби в поживних речовинах (Dietary Guidelines Advisory Committee, 2015) як ступінь забезпечення добової потреби за кількісними значеннями показників харчової цінності (білків, жирів, вуглеводів, клітковини). Він вказує на відсоток відповідності вмісту кожної харчової речовини в харчовому продукті у формулі збалансованого раціону.

Статистичний аналіз. Представлені дані являють собою середнє арифметичне значення трьох повторів ± стандартне відхилення.

Викладення основних результатів дослідження. Зміни в рецептурі хлібо-булочних виробів впливають на їхні показники якості. Закономірності зміни технологічних характеристик тістових напівфабрикатів і вплив сировини на якість хліба визначали за допомогою пробного випікання. Результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Показники якості тіста і хліба

Показники	Контроль	Зразок з лецитином	З рисовим протеїном, % до борошна пшеничного		
			4	8	16
Тісто					
Вологість, %	41,7	41,8	41,8	41,9	41,8
Кислотність, град					
-початкова	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
-кінцева	2,4	2,4	2,5	2,5	2,7
Тривалість бродіння, хв	150				
Тривалість вистоювання, хв	44	44	44	44	44
Хліб					
Питомий об'єм, см ³ /100 г	224	234	213	184	155
Формостійкість, Н/Д	0,56	0,61	0,62	0,63	0,64
Пористість, %	73	75	73	70	62
Кислотність кінцева, град	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1
Стан поверхні	гладка, без тріщин	гладка, без тріщин	гладка, без тріщин	гладка, без тріщин	гладка, без тріщин
Колір м'якушки	світлий	світлий	світлий	світло-коричневий	з коричневим забарвленням
Колір скоринки	світло-жовтий	світло-жовтий	світло-жовтий	світло-коричневий	з коричневим забарвленням
Структура пористості	рівномірна, дрібна, тонкостінна	рівномірна, дрібна, тонкостінна	рівномірна, дрібна, тонкостінна	рівномірна, дрібна, тонкостінна	рівномірна, дрібна, конкостінна
Смак	притаманний виробу	притаманний виробу	притаманний виробу	притаманний виробу	притаманний виробу

Внесення концентрату рисового протеїну спричинило зміну показників і тістових напівфабрикатів та хліба.

Зі збільшенням відсотка внесення концентрату рисового протеїну зросла початкова та кінцева кислотність тіста, що спричинено більш високою кислотністю цієї сировини. Був відсутній вплив на тривалість вистоювання тістових заготовок.

Значний вплив протеїн мав на показники якості хліба. Зокрема формостійкість покращується, що спричинено впливом цієї сировини на структурно-механічні властивості тіста в процесі бродіння. Кислотність м'якушки досліджуваних виробів вища за контроль унаслідок більш високої кислотності доданої сировини.

Внесення лецитину призвело до підвищення питомого об'єму хліба за рахунок позитивної дії цієї добавки на бродильну активність дріжджів. Зниження питомого об'єму на 4,5—30,8% та пористості зразків хліба при додаванні концентрату рисового протеїну можна пояснити тим, що білки цієї сировини не містять клейковинних білків, а отже, і не сприяють формуванню розвиненого клейковинного каркасу. При цьому структура пористості залишається рівномірною та дрібною.

Поряд з цим покращується смак виробів, а також забарвлення скоринки набуває коричневого відтінку за рахунок наявності більшої кількості білків, амінокислоти яких, вступаючи в реакцію з власними цукрами борошна в тісті під дією температури, надають більш інтенсивне забарвлення скоринці (Vélez, Pagán, & Ibarz, 2012). У результаті хліб, виготовлений з досліджуваною сировиною, має добрі споживчі властивості.

Концентрат рисового протеїну містить у 6,6 раза більше білка, ніж пшеничне борошно вищого сорту. Внесення його в рецептуру здатне значно збагатити хліб цим нутрієнтом. Проведено визначення вмісту основних нутрієнтів в хлібі з концентратом рисового протеїну та забезпечення ними добової потреби організму (табл. 2).

Таблиця 2. Вміст основних нутрієнтів в хлібі та забезпечення ними добової потреби організму

Вміст у 100 г продукту, г	Контроль	З концентратом рисового протеїну, % до маси борошна пшеничного		
		4	8	16
білки	8,07±0,1	9,10±0,1	11,08±0,1	15,02±0,1
жири	2,79±0,1	2,81±0,1	2,93±0,1	3,16±0,1
вуглеводи	52,96±0,1	47,07±0,1	47,52±0,1	48,43±0,1
харчові волокна	2,65±0,1	2,36±0,1	2,39±0,1	2,44±0,1
Інтегральний скор, % за рахунок вживання 100 г хліба				
білки	13,67	15,43	18,78	25,46
жири	4,66	4,68	4,88	5,27
вуглеводи	15,40	13,68	13,81	14,08
харчові волокна	10,61	9,44	9,55	9,76
Інтегральний скор, % за рахунок вживання добової норми хліба (277 г)				
білки	22,35	25,22	30,68	41,62
жири	7,74	7,79	8,11	8,76
вуглеводи	42,65	37,90	38,27	39,00
харчові волокна	29,38	26,15	26,45	27,05

Вміст білка в хлібі підвищився на 12,7—86,1% зі збільшенням дозування концентрату рисового протеїну. Вміст жиру підвищився незначно, оскільки вміст ліпідів у добавці невисокий, також дещо знизився вміст вуглеводів і харчових волокон. Ступінь забезпечення добової потреби в білку при вживанні добової норми хліба знаходився на рівні 25—41%, що корелює з розрахунками кількості внесення концентрату протеїну в рецептуру виробів.

Було проведено експертне оцінювання виробів за участі дегустаторів. Результати оброблені методом математичної статистики (табл. 3).

Таблиця 3. Органолептична оцінка виробів з концентратом рисового протеїну за 100-бальною шкалою з урахуванням коефіцієнта вагомості показників якості

Показники	Коефіцієнт вагомості	Контроль	Концентрат рисового протеїну, % до маси пшеничного борошна		
			4	8	16
Питомий об'єм, см ³ /г	0,15	4,6±0,3	4,5±0,3	4,4±0,3	3,5±0,3
Формостійкість подового виробу	0,15	Випукла верхня скоринка	Випукла верхня скоринка	Випукла верхня скоринка	Випукла верхня скоринка
		5,0±0,3	5,0±0,3	5,0±0,3	5,0±0,3
Колір скоринки	0,05	Світло-жовтий	Світло-жовтий	Світло-коричневий	З коричневим забарвленням
		5,0±0,3	5,0±0,3	5,0±0,3	5,0±0,3
Стан поверхні	0,05	Гладка, без тріщин	Гладка, без тріщин	Гладка, без тріщин	Гладка, без тріщин
		5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1
Колір м'якушки	0,05	Світлий	Світлий	Світло-коричневий	З коричневим забарвленням
		5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1
Структура пористості	0,09	Рівномірна, дрібна, тонкостінна	Рівномірна, дрібна, тонкостінна	Рівномірна, дрібна, тонкостінна	Рівномірна, дрібна, тонкостінна
		4,8±0,3	4,8±0,3	4,8±0,3	4,8±0,3
Еластичність м'якушки	0,12	Еластична	Еластична	Еластична	Еластична
		4,8±0,1	4,8±0,1	4,8±0,1	4,8±0,1
Аромат	0,11	Притаманний виробу	Притаманний виробу	Притаманний виробу	Притаманний виробу
		4,6±0,3	4,8±0,3	4,8±0,3	4,8±0,3
Смак	0,13	Притаманний виробу	Притаманний виробу	Притаманний виробу	Притаманний виробу
		4,8±0,3	4,8±0,3	4,8±0,3	4,8±0,3
Розжовуваність м'якушки	0,10	Добре розжовується	Добре розжовується	Добре розжовується	Добре розжовується
		5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1
Бальна оцінка (в перерахунку на 100 балів)		97,2±0,2	97,1±0,2	97,0±0,2	96,1±0,2

Експертна оцінка й органолептичні показники виробів підтверджують, що для отримання хлібобулочних виробів високої якості та повноцінних за амінокислотним складом варто додавати в рецептуру від 4 до 8% концентрату рисового протеїну.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення можливих технологічних прийомів для збільшення питомого об'єму виробів з концентратом рисового протеїну.

Висновки

Концентрат рисового протеїну містить у 6,6 раза більше білка, ніж пшеничне борошно вищого сорту. Вміст білка в хлібі з цією сировиною підвищився на 12,7—86,1% зі збільшенням дозування концентрату рисового протеїну. Ступінь забезпечення добової потреби в білку при вживанні добової норми хліба знаходився на рівні 25—41%.

Внесення концентрату протеїну в рецептуру хліба сприяє покращенню формостійкості виробів. Зниження питомого об'єму на 4,5—30,8% та пористості зразків хліба при доданні концентрату рисового протеїну можна пояснити тим, що білки цієї сировини не містять клейковинних білків, а отже, і не сприяють формуванню розвиненого клейковинного каркасу. При цьому структура пористості залишається рівномірною та дрібною.

Водночас покращується смак виробів, забарвлення скоринки набуває коричневого відтінку за рахунок наявності більшої кількості білків, амінокислоти яких, вступаючи в реакцію з власними цукрами борошна в тісті, під дією температури надають більш інтенсивне забарвлення скоринці. Хліб, виготовлений з досліджуваною сировиною, має добрі споживчі властивості.

Література

Медвідь, І. М., Шидловська, О. Б., Доценко, В. Ф., Федоренко, Ю. О. (2017). Перспективи розширення асортименту хлібобулочних виробів для хворих на цeliacію. *Хранение и переработка зерна*, 3(211), 43—48.

Дробот, В. І., Шевченко, А. О., Літвинчук, С. І. (2021). Вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба. *Наукові праці НУХТ*, 27(5), 114—122. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-5-15>.

Aldoury, M., Hettiarachchy, N. S., Horax, R. (2018). Rice-Endosperm and Rice-Bran Proteins: A Review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(8). <https://doi.org/10.1002/aocs.12110>.

Gnanasambandam, R., Hettiarachchy, N. S. (1995). Protein concentrates from unstabilized and stabilized rice bran: preparation and properties. *Journal of Food Science*, 60, 1066—1069.

Vélez, A. P. E., Pagán, J., Ibarz, A. (2012). Melanoidins Formed by Maillard Reaction in Food and Their Biological Activity. *Food Engineering Reviews*, 4(4), 203—223. <https://doi.org/10.1007/s12393-012-9057-9>.

Litvynchuk, S., Galenko, O., Cavicchi, A., Ceccanti, C., Mignani, C., Guidi, L., Shevchenko, A. (2022). Conformational Changes in the Structure of Dough and Bread Enriched with Pumpkin Seed Flour. *Plants*, 11, 2762. <https://doi.org/10.3390/plants11202762>.

López-Bascón, M. A., de Castro, M. L. (2020). Liquid-phase extraction. *Elsevier*, 11, 327—354. <https://www.elsevier.com/books/liquid-phase-extraction/poole/978-0-12-816911-7>.

McCleary, B. V., De Vries, J. W., Rader, J. I., Cohen, G., Prosky, L., Mugford, D. C., Champ, M., Okuma, K. (2010). Determination of Total Dietary Fiber (CODEX Definition) by Enzymatic-Gravimetric Method and Liquid Chromatography: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 93(1), 221—233. <https://doi.org/10.1093/jaoac/93.1.221>.

Mæhre, H. K., Dalheim, G. K., Elvevoll, E. O., Jensen, I. (2018). Protein determination-method matters. *Foods*, 7(1), 5—14. <https://doi.org/10.3390/foods7010005>.

Reche, M., Pascual, C. Y., Fiandor, A., Polanco, I., Rivero-Urgell, M., Chifre, R., Johnston, S., Martín-Esteban, M. (2010). The effect of a partially hydrolysed formula based on rice protein in the treatment of infants with CM protein allergy. *Pediatric Allergy and Immunology*. 21(4/1), 577—585. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3038.2010.00991.x>.

Stremmel, W., Vural, H., Evliyaoglu, O., Weiskirchen, R. (2021). Delayed-Release Phosphatidylcholine Is Effective for Treatment of Ulcerative Colitis: A Meta-Analysis. *Digestive Diseases*, 39, 508—515. <https://doi.org/10.1159/000514355>.

Verheyen, C., Albrecht, A., Elgeti, D., Jekle, M., Becker, T. (2015). Impact of gas formation kinetics on dough development and bread quality. *Food Research International*, 76(3), 860—866.

Wang, Z.; Li, H.; Liang, M.; Yang, L. (2016). Glutelin and prolamin, different components of rice protein, exert differently in vitro antioxidant activities. *Journal of Cereal Science*, 72, 108—116. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.10.006>.

Xue, C., Matros, A., Mock, H. P., Mühling, K. H. (2019). Protein Composition and Baking Quality of Wheat Flour as Affected by Split Nitrogen Application. *Frontiers in plant science*, 10, 642. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00642>.

Zhu, F., Sakulnak, R., Wang, S. (2016). Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread. *Food Chemistry*, 194, 1217—1223.

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

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

National University of Food Technologies

Key words:

Whey
Thermoacidic coagulation
Mineral enrichment
Fermentation
Intensification
Electrospark treatment

ABSTRACT

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

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

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

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

Article history:

Received 12.05.2023
Received in revised form
26.05.2023
Accepted 09.06.2023

Corresponding author:

O. Kochubei-Lytvynenko
E-mail:
okolit@email.ua

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

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ СИРОВАТКИ МОЛОЧНОЇ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЇЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ

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

Національний університет харчових технологій

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

хімічному ряді займає положення, наближене до Са, виконує роль структурують-ворюючих містків у зв'язуванні білків (по типу кальцієвих містків) за схемою -R-Mg-HPO₄-Mg-R- або -R-Mg-HPO₄-Mg-HPO₄-Mg-R- (Болога, Врбане, & Степурина 2013).

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

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

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

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

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

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

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

Висновки

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

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

Ефективність запропонованої технології доведена економічними показниками.

Подяка

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

Література

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

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

- Пирог, Т. П. (2010) *Загальна мікробіологія*. Київ: НУХТ.
- Stehlik-Tomas, V., Zetic, V. G., Stanzer, D., Grba, S., Vahcic, N. (2004) Zinc, Copper and Manganese Enrichment in Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 115—120.
- Birch, R. M. Ciani, M., Walker, G. M. (2003) Magnesium, Calcium and Fermentative Metabolism in Wine Yeasts. *Journal of Wine Research*, 14(1), 3—15.
- Карпугіна, М. В., Романова, З. М., Сидор, В. М., Карпугіна, Д. Д. (2012) Сучасні способи активації процесів розмноження та ферментації пивоварних дріжджів. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 28, 125—130.
- Кошова, В. М., Яжло, В. С., Каплуненко, В. Г., Огородник, Ю. І. (2015) Підвищення бродильної активності пивоварних дріжджів за допомогою наноаквахелату цинку. *Східно-європейський журнал передових технологій*, 10(76), 40—44.
- Góral M., Kozłowicz K., Pankiewicz U., Góral D. (2018) Magnesium enriched lactic acid bacteria as a carrier for probiotic ice cream production. *Food Chemistry*, 239, 1151—1159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.053>.
- Кочубей-Литвиненко, О. В., Чернюшок, О. А. (2017) Електрофізичний спосіб збагачення сухої молочної сироватки мінеральними елементами. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій імені Гжицького С. З. Серія: Харчові технології*, 19(75), 115—119.
- Лопатко, К. Г., Афтандіянц, Є. Г., Зазимко, О. В., & Трач, В. В. (2016). Фізика, синтез та біологічна функціональність нанорозмірних об'єктів: монографія. Київ: Вид-во НУБіП України.
- Walker, G. M. (1994) The Roles of Magnesium in Biotechnology. *Critical Reviews in Biotechnology*, 14(4), 311—354.
- Болога, М. К., Вrabне, Е. Г., Степурина, Т. Г. (2013) Особенности минерализации белковых концентратов при электрофизической обработке молочной сыворотки. *Электронная обработка материалов*, 49(6), 61—65.

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION AND STUDY OF THE PROPERTIES OF JELLY CANDIES WITH THE ADDITION OF APPLE VINEGAR

N. Dvinskykh, Yu. Azarenko, N. Khokhlenkova, O. Kaliuzhnaia

National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine

Key words:

Acetic acid bacteria
Apple cider vinegar
Jelly candies
Functional products
Technology
Sensory properties

Article history:

Received 09.05.2023
Received in revised form
28.05.2023
Accepted 09.06.2023

Corresponding author:

N. Dvinskykh

E-mail:

begunova1203@gmail.com

Citation: Двінських Н. В., Азаренко Ю. М., Хохленкова Н. В., Калюжная О. С. (2023). Розробка складу та дослідження властивостей желейних цукерок з додаванням яблучного соку. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 168—182. DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-16

ABSTRACT

Literature data on the use of natural apple vinegar as a functional component in the composition of products of increased nutritional value were analyzed. The development of such a functional product is relevant, in which the powerful antioxidant, antibacterial and other valuable properties of vinegar will be preserved, and possible side effects will be reduced or eliminated altogether.

Therefore, the purpose of the research was to develop the composition and study the properties of jelly candies based on natural apple vinegar with functional properties, with a therapeutic, preventive and health-improving effect.

The substantiation of the composition and investigation of the properties of candies with natural apple vinegar were carried out. The samples were obtained according to the technology: preparation of the gel-forming substance, in particular, mixing gelatin with cold water; preparation of sugar syrup at 110 °C and cooling to 40 °C; mixing syrup with a solution of a gel-forming substance; adding vinegar and flavoring at 35 °C; pouring the mass into molds and cooling the candies. Based on the results of the evaluation of the technological qualities of semi-finished products and finished candies and sensory analysis, the rational ratios of sugars, type and amount of gelling component (gelatin, 5%) to form springy, non-sticky consistency, the type and amount of flavoring ("Apple"), which organically complemented the smell of candies, were determined. To evaluate the technological properties, the following indicators were studied: gel strength and adhesion strength, homogeneity of content, dissolution time. Physicochemical parameters were determined: pH, quantitative content of acetic acid, mass fraction of reducing substances and moisture. According to the obtained results, the rational composition and method of obtaining jelly candies with therapeutic and preventive properties were determined, which will allow to expand the range of functional products, primarily for children, the elderly and at supporters of healthy lifestyle.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-16

РОЗРОБКА СКЛАДУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖЕЛЕЙНИХ ЦУКЕРОК З ДОДАВАННЯМ ЯБЛУЧНОГО ОЦТУ

Н. В. Двінських, Ю. М. Азаренко, Н. В. Хохленкова, О. С. Калюжная
Національний фармацевтичний університет, м. Харків, Україна

У статті проаналізовано літературні дані щодо застосування натурального яблучного оцту як функціонального компонента у складі продуктів підвищеної харчової цінності. Актуальною є розробка такого функціонального продукту, в якому потужні антиоксидантні, антибактеріальні та інші цінні властивості оцту будуть зберігатися, а можливі побічні ефекти зменшаться або нівелюються зовсім.

Проведено обґрунтування складу та досліджено властивості цукерок з натуральним яблучним оцтом. Зразки отримували за технологією: підготовка гелеутворюючої речовини, зокрема, змішування желатину з холодною водою; приготування сиропу з цукрів при 110 °С та охолодження до 40 °С; змішування сиропу з розчином гелеутворюючої речовини; додавання оцту та ароматизатора при 35 °С; відсадка маси у форми й охолодження цукерок. За результатами оцінки технологічних якостей напівфабрикатів і готових цукерок та сенсорного аналізу визначено раціональні співвідношення цукрів, вид та кількість гелеутворюючого компонента (желатин, 5%) для формування пружної нелипкої консистенції, вид і кількість ароматизатора («Яблуко»), який органічно доповнює запах цукерок. Для оцінки технологічних властивостей досліджували показники: міцність гелю та сила адгезії, однорідність вмісту, час розчинення. Визначено фізико-хімічні показники: рН, кількісний вміст кислоти оцтової, масову частку редукуючи речовин та вологи. За результатами випробувань визначено раціональний склад і спосіб отримання желейних цукерок з лікувально-профілактичними властивостями, що дасть змогу розширити асортимент функціональних продуктів, орієнтованих на дітей, людей похилого віку і прихильників раціонального підходу до здоров'я.

Ключові слова: оцтовокислі бактерії, яблучний оцет, желейні цукерки, функціональні продукти, технологія, органолептичні властивості.

Постановка проблеми. У розвинених країнах здорове харчування зведено в ранг державної політики. Доведено, що правильне харчування забезпечує зростання і розвиток дітей, профілактику низки захворювань, підвищення працездатності і продовження життя дорослих, тоді як незбалансоване, навпаки, призводить до виникнення багатьох проблем зі здоров'ям.

Натуральний яблучний оцет (НЯО) користується великою популярністю у прихильників здорового харчування через його користь для здоров'я. Терапевтичні властивості оцту, описані дослідниками, включають антимікробну, антиоксидантну, антиглікемічну, антиканцерогенну, антигіпертензивну, серцево-судинну та гіполіпідемічну дію. Також НЯО є засобом боротьби з ожирінням. Традиційний яблучний оцет, виготовлений без пастеризації, є джерелом органічних

кислот, фенольних сполук і корисних бактерій (Yassunaka Hata, Surek, Sartori, Vassoler Serrato, & Aparecida Spinosa, 2023; Štornik, Skok, & Trček, 2016).

Однак лікарі стверджують, що навіть розбавлений водою яблучний оцет може спровокувати проблеми не тільки зі шлунком, але й із зубами. Кислоти можуть привести до підвищеної чутливості емалі і навіть розвитку карієсу. Оцтова кислота у великих концентраціях може бути токсичною, крім того, оцет має специфічний смак і запах. (Mas, Torija, García-Parrilla, & Troncoso, 2014; Gomes, Borges, Rosa, Castro-Gómez, & Spinosa, 2018). Тому актуальною є розробка нових форм харчових функціональних продуктів (ФП), в яких корисні властивості НЯО зберігаються та надають дію, а шкідливі зменшуються або нівелюються зовсім.

Однією з форм ФП є цукерки желейні з жувальною текстурою. Ця форма (Куриной, Рыжов, Гладышев, Клементьев, & Дюдюн, 2012; Шматченко, Касабова, & Артамонова, 2021; Гладух, & Чуєшов, 2018; Tangso, Ho, & Boyd, 2015) навіть віднесена до «кондитерських» лікарських форм — твердих або м'яких, з великим вмістом цукру або його замінників. В інших джерелах їх позиціонують як кондитерські вироби спеціального призначення (Nepochatykh, & Sheremet, 2018).

Отже, слід відзначити, що навіть у науковій літературі і в офіційних документах немає єдності у визначенні понять, що відносяться до ФП і сфери їх застосування. І хоча в одних випадках їх позиціонують як продукти харчування, відмінні від біологічних добавок і патентованих лікарських препаратів, в інших, навпаки, вказується, що вони є саме корисними біодобавками або іншими лікувально-профілактичними препаратами.

Желейні цукерки — дозована форма ФП, що отримується шляхом формування пластичної суміші функціональних компонентів з основою, яка містить гелеутворюючі речовини і призначена для розжовування. Цукерки можуть містити одну або кілька діючих речовин, що вивільняються при жуванні і надають лікувально-профілактичну дію місцево при захворюваннях ротової порожнини або системно після абсорбції через слизові оболонки рота або шлунково-кишкового тракту (Гладух, 2018; Tangso, 2015).

Розробка оригінальних вітчизняних желейних цукерок жувальної консистенції з НЯО, які мають високі якісні характеристики, лікувально-профілактичну цінність і зменшений ризик виникнення побічних ефектів оцту, є доцільною, розширить асортимент ФП для прихильників здорового образу життя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У структурі харчування сучасної людини використовується безліч природних і штучних харчових продуктів, відомо багато лікувальних і загальнооздоровчих дієт. В останні роки це харчове різноманіття розширили ФП — Food for Specified Health Use, які іноді навіть називають суперпродуктами, що на відміну від традиційних мають не тільки певні поживні властивості, а й надають цілеспрямовану дію на функціональну активність окремих органів, систем і організму в цілому, стимулюють їх працездатність з конкретною профілактичною та лікувально-оздоровчою мето. (Diet diary: Functional foods and Japanese FOSHU — Foods For Specified Health Us, 2018; Functional Foods: Superheroes for Health, 2023).

Загалом, така дія окремих рослинних та інших харчових продуктів відома людству з давніх часів і успішно використовується як в народній, так і в традиційній медицині. Однак у сучасному розумінні і новій якості термін ФП почав входити в практику медицини, харчової промисловості та споживчого попиту лише в п'ятдесяті роки минулого століття, коли були розроблені ферментовані кисломолочні продукти, що коригують мікрофлору кишечника. Тоді ж сформувався підхід до ФП як важливого шляху ослаблення ролі і зниження вартості медикаментозної терапії. У 70—90-ті роки ХХ ст. активізувалася робота з досліджень біологічної цінності ФП в Західній Європі, в США та інших країнах. Продукти функціонального призначення все частіше стали з'являтися в аптеках і продовольчих магазинах. З огляду на прогнози фахівців у сфері харчування і медицини, в найближчі 15—20 років частка цих продуктів досягне 30% усього продуктового ринку. При цьому вони на 35—50% витіснять зі сфери реалізації багато традиційних лікарських препаратів. (Здорова їжа: натуральність продуктів харчування стала трендом, 2018; Davidson, & Jaine, 2014; Soliboeva, 2023; Zhao, 2019).

Для покращання необхідних цілеспрямованих лікувально-профілактичних властивостей (або їх посилення) в ФП додають біологічно активні компоненти природного походження. Серед цих компонентів: вітаміни, біологічно значущі макро- (калій, кальцій, натрій, вуглець, кисень тощо) і мікроелементи (селен, цинк, йод, залізо, молібден тощо), харчові волокна, молочнокислі бактерії та інші пробіотики, антиоксиданти, поліненасичені жирні кислоти тощо. (Soliboeva, 2023; Nath, Vatai, & Bánvölgyi, 2023).

За останні 10—20 років споживання ФП спостерігається в переважній більшості країн світу. Їх виробництво щорічно зростає на 5—40%. Найбільш виражена ця тенденція в США, Канаді, Західній Європі, Японії, Австралії та ін. Натеper відомо більше 100 тис. найменувань ФП (в Японії це майже 50%, в США, Європі та Австралії — 20—30% від всіх вироблених харчових продуктів). Споживчий ринок ФП формується на 50—65% молочними продуктами, на 9—10% — хлібобулочними виробами, на 3—5% — спеціальними напоями, на 20—25% — іншими харчовими товарами. (Пахуча, & Сєвідова, 2022; Тренди світового ринку кондитерських виробів з цукру, 2023).

На українському ринку з натуральних оцтів найбільш популярний і поширений яблучний. Свою популярність він здобув також завдяки книгам доктора Джарвіса, який розробив концепцію лікування і профілактики деяких захворювань, зниження маси тіла за допомогою так званого «Еліксиру Джарвіса», основні компоненти якого — яблучний оцет і мед (Миронова, 2015).

Яблучний оцет — це вид харчового оцту, який отримують методом зброджування із сидру або яблучного мусту. Непастеризований або органічний яблучний оцет містить оцтову матку (залишки пектину, бактерій і дріжджів), яка має павутиноподібний вигляд і може надавати оцтові дещо загуслого вигляду (Yetiman, & Kesmen, 2015; Štornik, 2016; Yassunaka Hata, 2023).

У яблучному оцті міститься понад 60 органічних сполук. У процесі ферментації при його отриманні активно синтезується багато амінокислот, серед яких ідентифіковано 16. Їх кількість більш ніж утричі вища, ніж у вихідній сировині. Органічні кислоти в складі яблучного оцту представлені насамперед оцтовою

кислотою, також містяться яблучна, молочна, шавлева, лимонна. Оцет багатий на мікро- та макроелементи: натрій, калій, кальцій, кремній, магній, залізо, фосфор, мідь і сірка. Важливою складовою НЯО є велика кількість ферментів (Yetiman, & Kesmen, 2015; Štornik, 2016; Yassunaka Hata, 2023). Наявність таких біологічно активних сполук обумовлює функціональну цінність НЯО.

Оцтова кислота активує шлункові протеолітичні ферменти, сприяє повному розщепленню білків їжі, а неповне розщеплення білків є причиною газоутворення в ШКТ. Вона також сприяє відведенню ферментів з підшлункової залози та відведенню жовчі. Оцтова кислота, знижуючи рН, діє бактерицидно не тільки на шкідливі мікроорганізми в шлунку, а також запобігає розвитку синдрому надлишкового бактеріального росту (СНБР). Кисле середовище, створюване НЯО, допомагає усунути кандидоз в організмі, викликаний неправильним харчуванням або прийомом антибіотиків, а також пригнітити ріст грибів роду *Candida* в зубних протезах. У свою чергу, метаболіти бродильних мікроорганізмів, присутні в НЯО, є пребіотиками для корисної мікрофлори ШКТ (Yassunaka Hata, 2023; Професор Керол Джонстон пояснив, чому яблучний оцет називають еліксиром здоров'я і молодості, 2020).

Наявність макро- і мікроелементів в оцті та його здатність сприяти засвоєнню кальцію, магнію, заліза, вітамінів (К, В₁₂, С тощо) обумовлює підтримку в нормі електролітного балансу організму, а це є умовою нормалізації кров'яного тиску, що, у свою чергу, знижує ризик серцевих захворювань (Миронова, 2015; Yassunaka Hata, 2023).

Дослідження, проведене в Arizona State University професором Керол Джонстон (Професор Керол Джонстон пояснив, чому яблучний оцет називають еліксиром здоров'я і молодості, 2020), підтверджує терапевтичний ефект НЯО, особливо для споживачів, які схильний до ризику діабету другого типу. Під час вживання НЯО з їжею знижується постпрандіальна глікемія та метаболічні ефекти. Оцет знижує інсулінорезистентність і вироблення інсуліну, що приводить до схуднення. Зниження рівню інсуліну йде паралельно зі зниженням рівню холестерину, що сприятиме вирівнюванню тиску, допомагає боротися із бляшками у крові.

Фенольні сполуки НЯО (катехіни, кавава, галова кислоти тощо) здатні пригнічувати синтез бета-амілоїдних бляшок (при хворобі Альцгеймера) та покращують когнітивні здібності (Gomes, Borges, Rosa, Castro-Gómez, & Spinosa, 2018; Yassunaka Hata, 2023).

НЯО містить антиоксидантну хлорогенову кислоту, яка важлива для здоров'я серця та разом з іншими антиоксидантними компонентами запобігає передчасному старінню (Yassunaka Hata, 2023; Gomes, Borges, Rosa, Castro-Gómez, & Spinosa, 2018).

Оцет стимулює лейкоцити крові для боротьби з інфекцією, тобто впливає на імунну систему, надає протизапальну дію, є гепатопротектором, захищаючи печінку від дії таких металів, як кадмій та алюміній. Близько 70% енергії клітини кишківника отримують від коротколанцюгових жирних кислот, до яких відносять і оцтову, отже, НЯО також є енергетичним джерелом. (Миронова, 2015; Gomes, Borges, Rosa, Castro-Gómez, & Spinosa, 2018, Yassunaka Hata, 2023; Zhao, 2019; Професор Керол Джонстон пояснив, чому яблучний оцет називають еліксиром здоров'я і молодості, 2020).

НЯО може використовуватися не тільки як ароматизатор і харчовий консервант, він не тільки додає пікантності стравам, але й може істотно поліпшити самопочуття. Особливо це стосується використання саме непастеризованого НЯО, в якому зберігаються всі корисні компоненти.

Солодкі лікувальні та профілактичні засоби у вигляді м'яких форм застосовували ще давньогрецькі лікарі. До них належать кашки, цукерки тощо. Основою для цукерок є сироп (лат. *sirupus*) — густа прозора рідина, що містить одну чи більше діючих речовин, розчинених у концентрованих водних розчинах сахарози та інших цукрів або у зброджених соках плодів і ягід. Якщо необхідно, до сиропів додають антимікробні консерванти, антиоксиданти, стабілізатори, ароматизатори, смакові добавки та інші допоміжні речовини. Як гелеутворюючі речовини до сиропу додають розчини желатину, пектину, агар-агару, гуарової камеді, альгінової кислоти тощо (Шматченко, 2021; Гладух, 2018; Tangso, 2015; Nepochatykh, & Sheremet, 2018).

На ринку присутні засоби з вмістом яблучного оцту у вигляді мармеладок, желейних цукерок та інших видів ФП в основному закордонного виробництва, які користуються попитом і набувають популярності.

13-річна школярка М. К'ювмен із США запропонувала та запатентувала льодяники, до складу яких входить цукор і яблучний оцет як засіб від гикавки. Повідомляється, що ця комбінація надає заспокійливу та розслаблюючу дію на нервові закінчення глотки, які спричиняють виникнення гикавки, та гарантує практично негайне її припинення. (Чомахашвілі, 2017)

Вітчизняна харчова та хіміко-фармацевтична промисловість виготовляє ФП у вигляді пастилок, цукерок, льодяників, які є привабливими на вигляд і зручними для лікувально-профілактичного застосування у дорослих та дітей, особливо дошкільного віку. Але серед них немає засобів на основі цінного натурального продукту — НЯО.

Мета дослідження: розробка складу і технології желейних цукерок жувальної консистенції з додаванням натурального яблучного оцту з функціональними властивостями, лікувально-профілактичним та оздоровчим ефектом, який обумовлений його потужними антиоксидантними, антибактеріальними і багатьма іншими цілющими властивостями.

Матеріали і методи. Використовували цукрозу (цукор білий за ДСТУ 4623:2006), глюкозу (ДСТУ 4464: 2005), фруктозу (ТУ У 15.6–32062796–010:2007), желатин (харчовий швидкорозчинний П-ІІ ТУ У 24.6-00418030-002-2007), пектин (ДСТУ 6088:2009), агар-агар (виробник Іспанія, постачальник ТОВ «Хімпродукт»), оцет яблучний натуральний непастеризований (отриманий у лабораторних умовах), ароматизатори харчові («Мигдаль» ТМ Dr.Oetker, Німеччина, «Яблуко» ТМ Darom As, Литва, НТД виробника). Об'єктом дослідження були зразки желейних цукерок.

Визначення вмісту оцтової кислоти в НЯО та в цукерках проводили методом титрування. Порядок приготування проби: наважку цукерок 1,0 г розчиняли в 10 см³ дистильованої води при температурі 30—35 °С. До розчину додавали 1—2 краплі фенолфталеїну і титрували розчином натрію гідроксиду 0,1 н до появи блідо-рожевого забарвлення, стійкого протягом 30 секунд. Титрування повторювали до трьох відтворюваних результатів.

Для вимірювання рН пробу готували, як вказано вище. рН, або активну кислотність, визначали потенціометричним методом на рН-метрі марки «рН-305».

Для визначення однорідності вмісту використовували методику, наведену у статті ДФУ 2.0, 2.9.6 «Однорідність вмісту діючої речовини в одиниці дозованого лікарського засобу, тест А» (Державна фармакопея України, 2015).

Міцність гелю цукерок желейних визначали навантаженням на одиницю площі, необхідної для занурення стрижня з відомою площею поперечного перерізу у випробуваний продукт на задану глибину.

На нижню частину стрижня діаметром 12,5 мм, який має напрямну трубку та закріплення на штативі, прикріплювали одну зі знімних насадок. Під стрижень поміщали склянку з досліджуваним зразком гелю висотою 30 ± 2 мм та діаметром не менше 30 мм. Встановлювали стрижень на поверхню гелю, притримуючи його рукою так, щоб він тільки торкався поверхні гелю. Якщо стрижень занурюється в гель, насадку змінювали на більшу, таку, яка не проникає в об'єм гелю. Починали збільшувати масу стрижня, додаючи вантажі на верхню частину стрижня, доки він не почне проникнення в досліджуваний гель. Коли починається занурення стрижня, додавання вантажів припиняли. Якщо стрижень проник на глибину менше ніж 30 мм у гель, використовували ще один вантаж з мінімальною масою. Після проникнення стрижня на глибину 30 мм проведення випробування закінчували та визначали загальну масу вантажів та стрижня. Випробування проводили тричі. Розрахунок механічної міцності гелю (F , кН/м²) проводили за формулою:

$$F = m \cdot 10 / S_{CT},$$

де m — загальна маса використаних вантажів та стрижня, кг; S_{CT} — площа поперечного перерізу стрижня або насадки, що використовується, м².

Для визначення сили адгезії робили зрізи цукерок товщиною 1 мм та поміщали на предметне скло. Зріз за допомогою скальпеля розділяли, роблячи надрізи через 1 мм, на 25 квадратів. Силу адгезії визначали кількістю зчеплених зі склом квадратів, що не відділяються під час прорізання, та після висихання зрізу і тертя тупою стороною скальпеля. Спостереження за відлущуванням зрізу від скла проводили візуально.

Час розчинення цукерок визначали *in vitro*. 20 см³ дистильованої води відміряли в колбу об'ємом 50 см³ з притертою пробкою і нагрівали на водяній бані при 37 ± 1 °С. Потім в колбу вносили шматок цукерок вагою $1,0 \pm 0,05$ г, енергійно струшували і знов поміщали у водяну баню. Під час спостереження за розчиненням проби колбу струшували 2—3 рази.

Визначення масової частки води та масової частки редуруючих речовин проводили методами, регламентованими ДСТУ 4135:2021 (ДСТУ 4910:2008, ДСТУ 5059:2008).

Морфологічні ознаки оцтовокислих бактерій в оцті та в цукерках визначали мікроскопічним методом у фіксованих препаратах, фарбованих за методом Грама (Віннікова, & Раєвська, 2016).

Викладення основних результатів дослідження. На підставі вивчення літературних джерел було обрано компоненти для приготування желейних цукерок. За функціональний компонент взято непастеризований яблучний оцет лабораторного приготування.

Для підтвердження його придатності як сировини досліджували органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники якості. Результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати досліджень яблучного оцту

Показник	Характеристика або діапазон показника	Результат випробування
Органолептичні показники		
Зовнішній вигляд*	Прозора рідина без помутніння, допускається невелика опалесценція; наявність живих і мертвих оцтових вугриць (дрібні нематоди), а також бактеріальних плівок не допускається. У пляшках допускається випадання незначного осаду, обумовленого присутністю пектинових та інших речовин, що не викликає загального помутніння.	Відповідає
Колір*	Від світло-жовтого до бурштинового	Відповідає
Смак*	Кислий, властивий для оцту. Сторонні присмаки не допускаються.	Відповідає
Запах*	Характерний для виду оцту. Сторонні запахи не допускаються.	Відповідає
Фізико-хімічні показники		
pH**	2,4 (1,0 М розчин, приблизна концентрація харчового оцту) (Кислота оцтова льодова, 2023)	2,95
Кількісний вміст	Від 6 до 9 %* Від 3 до 12 %**	3,45
Мікробіологічні показники**		
Мікроморфологічні властивості (оцтовокислі бактерії)	Грамнегативні бактерії паличкоподібної форми прямі або злегка зігнуті, поодинокі, парами, у вигляді ланцюжків, іноді у вигляді скупчення (Gomes, 2018; Štornik, Skok, & Trček, 2016; Yetiman, 2015)	Відповідає

Примітка: * — за вимогами ДСТУ 2450:2006 Оцти з харчової сировини. Загальні технічні умови; ** — очікувані (за даними літератури).

За результатами, наведеними в табл. 1, було зроблено висновок про придатність досліджуваного зразка непастеризованого НЯО для додавання до складу желейних цукерок.

Цукерки желейні, які відносять до кондитерських виробів функціонального призначення (Куринной, 2012; Шматченко, 2021; Гладух, 2018; Tangso, 2015), складаються з пластичної основи, функціонального компонента (діючої речовини), коригентів органолептичних властивостей та pH. Функціональний компонент цукерок представлений біологічно активною речовиною або сумішшю таких речовин, як правило, природного походження.

Основа для желейних цукерок складається із солодкого сиропу, виготовленого з цукрози, глюкози або інших цукрів, глюкозного сиропу, патоки, їх сумішей, а також цукрозамінників, до яких додають гелеутворюючі речовини (желатин, камеді, мальтодекстрин, пектин, модифікований крохмаль, агар-агар або їх суміші) для надання пластичних властивостей.

Кількість сиропу складає до 80% від складу цукеркової маси, кількість гелеутворюючих речовин може коливатися від 1 до 15%. (Гладух, 2018; Tangso, 2015).

Процес отримання цукерок желейних включає приготування цукрового сиропу (Tangso, 2015) та розчину гелеутворювача. Гелеутворюючий компонент вводять до складу сиропу у вигляді розчинів або у вигляді порошку. У вигляді розчинів вводять обмежено набухаючі речовини після попереднього набухання в холодній воді та розчинення при нагріванні. У вигляді порошку вводять, наприклад, пектин у вигляді суміші з цукрозою або іншим цукром зі складу основи для запобігання злипанню частинок. (Гладух, 2018; Tangso, 2015; Zhao Ya, 2019).

Після отримання суміші загусника та сиропу до неї вводять функціональні компоненти, частіше у вигляді розчину для рівномірності їх розподілу в загальній масі. Отриману теплу масу відливають у форми та після застигання опудрюють, або відливають у крохмальні форми, які формуються шляхом штампування (Гладух, 2018)

Розробка складу та опрацювання технології желейних цукерок з НЯО складалася з таких етапів:

- підбір складу сиропу та загусника для цукеркової маси;
- визначення кількості функціонального компонента та способу його введення до складу маси;
- вибір коригентів смаку та запаху та їх концентрації;
- опрацювання раціональної технології виготовлення цукерок;
- дослідження фізико-механічних, фізико-хімічних показників, технологічних властивостей і мікроскопія зразків цукерок.

На основі даних літератури та досвіду власних досліджень для отримання сиропу запропоновано використання цукрози, глюкози та фруктози. Як гелеутворюючий компонент досліджували желатин, пектин, агар-агар. Для поліпшення органолептичних властивостей використовували кілька харчових ароматизаторів. Були приготовані серії желейних цукерок, склади яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Склади зразків желейних цукерок на основі яблучного оцту

№ серії	Кількісний вміст, %								
	Желатин	Пектин	Агар-агар	Цукроза	Глюкоза	Фруктоза	Оцет яблучний	Ароматизатор	Вода ³
1	4	—	—	60	—	—	20	—	16,0
2	3	2	—	50	5	—	20	0,1 ¹	19,7
3	5	—	—	35	20	—	22	—	18,0
4	—	4	—	30	20	10	20	0,2 ²	15,7
5	—	—	2	25	30	—	20	0,3 ²	22,7
6	3	—	—	27	27	—	20	0,3 ¹	22,7
7	4	—	—	—	30	27	20	0,4 ¹	18,6
8	5	—	—	20	20	10	20	0,3 ²	24,7
9	5	—	—	27	20	7	17	0,3 ²	23,7
10	5	—	—	20	30	5	20	0,3 ¹	19,7

Примітка: ¹ — ароматизатор «Мигдаль», ² — ароматизатор «Яблуко», ³ — загальна кількість.

Технологія виготовлення зразків мала таку послідовність:

- підготовка гелеутворювача. Желатин швидкорозчинний змішували з мінімально можливою кількістю холодної води до однорідності, гідромодуль складав 1:1 (для серії 1), 1:1,5 (для серій 2, 3, 6), 1:2 (для серій 7—9). Агар-агар змішували з холодною водою та розчиняли при перемішуванні та підігріві до температури 90 °С (гідромодуль 1:5), пектин змішували з цукрозою або глюкозою у співвідношенні 1:5;

- приготування сиропу з цукрів шляхом розчинення при перемішуванні та уварюванні при 110 °С, охолодження до 40 °С;

- змішування сиропу з розчином гелеутворюючого компонента;

- додавання НЯО та ароматизатора при перемішуванні при температурі 35—40 °С. Температура обумовлена властивостями оцтовокислих бактерій, які наявні в НЯО. Чутливими до підвищених температур також є ферменти мікробного походження, які є складовими натурального оцту;

- відливання отриманої цукеркової маси у сухі силіконові форми і охолодження цукерок при кімнатній температурі.

Варіювання якісного складу та кількостей складових компонентів здійснювали на основі оцінки технологічних якостей напівфабрикатів та готових цукерок: прозорості сиропу та цукерок, схильності сиропу, цукеркової маси та зразків цукерок до утворення кристалів цукру під час приготування та під час зберігання, легкість отримання розчину гелеутворювача, легкість перемішування маси та її технологічність при відсадці, пружність охолоджених цукерок тощо. Оцінювались органолептичні властивості та вносились корективи до кількостей компонентів.

Визначено, що переважним є заміна частини цукрози на глюкозу та фруктозу. Додавання останньої обумовлює меншу схильність сиропу до зацукрювання, оскільки надає йому властивостей інвертованого, який має відому антикристалізаційну та вологоутримувальну здатність. Глюкоза є одним з найбільш легкозасвоюваних цукрів та універсальним джерелом енергії, але має меншу розчинність і солодкість, ніж фруктоза. При варіюванні їх кількостей урахували їх властивості, властивості цукеркових мас і цукерок, а також фактор ціни сировини (ці цукри є дорожчими, ніж цукроза).

Визначено раціональним використання як гелеутворюючої речовини желатину швидкорозчинного. Желатин є більш доступним та дає змогу отримати цукерки, які не поступаються якістю зразкам з іншими гелеутворювачами. Критичним параметром є кількість желатину, яка забезпечила б належну пружність цукерок, тому що кількість води для його розчинення обмежена кількістю води, необхідної для отримання сиропу. Варіювання співвідношенням цукрів також дало змогу подолати цю проблему. Щодо пектину та агару, їх використання, на перший погляд перспективне, але має ряд недоліків, які стосуються температурних режимів їх підготовки, рівня пружності та липкості отриманих зразків, доступності та ціни сировини.

Вміст оцту в цукерках корегували з урахуванням максимальної кількості та водночас впливу на споживчі властивості. Був проведений сенсорний аналіз зразків цукерок за показниками, наведеними в табл. 3, та складено профілограму, наведену на рис. 1.

Таблиця 3. Показники сенсорного аналізу желейних цукерок з яблучним оцтом

Показник	Характеристики показників / Оцінка в балах				
	1	2	3	4	5
Зовнішній вигляд	Непрозорі цукерки нечіткої форми, наявні кристали	Непрозорі цукерки нечіткої форми, наявні злиплі	Напівпрозорі цукерки хорошої форми, є деформовані	Прозорі цукерки хорошої форми, не злиплі, не деформовані	Прозорі цукерки чіткої форми, не злиплі, не деформовані
Колір	Жовто-коричневий	Жовто-оранжевий	Жовтий	Світло-жовтий	Солом'яно-жовтий
Запах	Занадто виражений оцтовий запах	Виражений запах яблучного оцту	Кислуватий яблучний запах	Характерний запах яблучного оцту	Легкий яблучний запах
Смак	Занадто кислий	Кислувато-гіркий	Кислуватий	Кисло-солодкуватий	Приємна кислинка, легкий присмак яблучного оцту
Консистенція	Ущільнена, цукерки сухі, ламкі	Липкої консистенції, м'якувата непружна структура	Занадто пружна, подібна до жувальної гумки, довго зберігаються в роті, з гумоподібним залишком	Пружна, подібна до жувальної гумки, довго зберігаються в роті, без гумоподібного залишку	Пружна, не липка, приємна консистенція

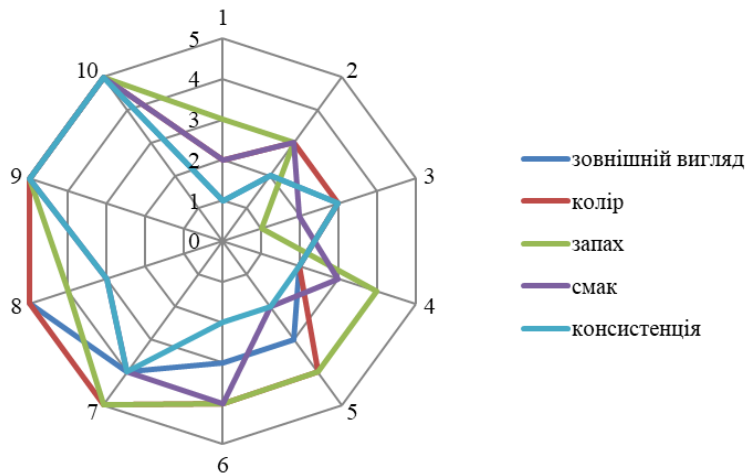


Рис. 1. Профілограма органолептичних показників зразків цукерок, 1—10 — номери серій, 1—5 — бали

Під час досліджень встановлено, що найбільш раціональні характеристики мають серії 7, 9 та 10. Цукровий сироп є прозорим, розчинення складових нетривале,

співвідношення желатину та води є зручним у приготуванні, вміст желатину достатній для формування пружної нелипкої консистенції. Ароматизатор «Яблуко» органічно доповнює запах цукерок. Отримані цукерки прозорі, мають приємну кислинку, яблучний запах з відтінком яблучного оцту.

Зразки цукерок серій 7, 9 та 10 досліджували за показниками: міцність гелю та сила адгезії, активна кислотність (рН), кількісний вміст кислоти оцтової, однорідність вмісту, час розчинення за методиками, наведеними вище. Міцність гелю та сила адгезії є важливими фізико-механічними характеристиками для цукерок желейних. Їх визначали для зразків серій 7, 9 та 10, а також для зразків, до складу яких входять агар-агар (5) і пектин (4), для порівняння.

Однорідність вмісту є показником, який доцільно визначати для розроблюваних цукерок желейних з функціональним компонентом, тому що він характеризує якісне рівномірне розподілення діючої речовини або функціонального компонента в масі цукерок.

Час розчинення є також важливим аспектом, який характеризує швидкість розчинення, а отже, і вивільнення функціонального компонента, який у цукерках включений в гель, утворений великими молекулами гелеутворюючого компонента. В такій системі швидкість дифузії невисока, тому і швидкість розчинення цукерок порівняно повільна. Починається розчинення після початку набухання високомолекулярного гелеутворювача в розчиннику, тому час розчинення має значення та залежить насамперед від природи полімеру, від товщини та міцності цукерок. По-друге, на цей показник можуть вплинути властивості діючої речовини, тому для оцінки взаємного впливу функціонального компонента та пластичної основи визначали додатково час розчинення контрольних зразків цукерок без додавання оцту яблучного.

Визначення показника активної кислотності є необхідним для дослідження властивостей отриманих зразків цукерок. Рівень рН характеризує не тільки смакові властивості зразків, а також дає змогу їх характеризувати за вмістом кислот, передусім оцтової, тому що вона є основною активною речовиною цукерок.

Результати досліджень вказаних показників наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Результати досліджень зразків желейних цукерок на основі яблучного оцту

Найменування показників, од. виміру	Серія 7	Серія 9	Серія 10
Міцність гелю, кН/м ²	31,0±0,5	38,2±1,6	42,1±1,2
Сила адгезії, %	63,6±2,6	57,6±2,1	56,2±1,8
Однорідність вмісту, % (кислота оцтова)	в кожній з 10 цукерок від 0,85 до 1,15	в кожній з 10 цукерок від 0,85 до 1,15	в кожній з 10 цукерок від 0,85 до 1,15
Час розчинення цукерок з НЯО, хв	42,3±1,1	49,0±1,4	48,3±0,9
Час розчинення контрольних зразків цукерок, хв	44,1±1,2	51,1±1,1	49,7±1,2
Активна кислотність, од. рН	2,95±0,06	3,07±0,04	3,12±0,04
Масова частка вологи, %	15,2±0,2	13,1±0,2	12,5±0,2
Масова частка редукуючих речовин, %	79,0	64,0	68,0

Кількісний вміст кислоти оцтової, %	0,95±0,02	1,03±0,03	0,99±0,02
-------------------------------------	-----------	-----------	-----------

Примітка: число вимірювань $n = 5$, $P = 95\%$.

Отже, величини показників міцності гелю в зразках серій 7, 9 та 10 підтверджують висновки, зроблені при органолептичних випробуваннях. У цих серіях міцність гелю свідчить про його гарну якість, а в серіях з пектином (4) та агаром (5) вона складала $28,0 \pm 1,2$ та $26,5 \pm 1,4$ відповідно, що підтверджує висновок про їх недостатні споживчі властивості в досліджених концентраціях.

Отримані значення сили адгезії мають невисокий рівень, якщо порівняти зі значеннями для гумок жувальних (близько 100 %), які мають сприяти насамперед механічному очищенню емалі зубів від нальоту та залишків їжі. Але такий рівень запобігатиме прилипанню цукерок до зубної емалі і відчуттю дискомфорту у споживача, тобто підвищує споживчу привабливість продукту.

Час розчинення цукерок желейних з яблучним оцтом і контрольних цукерок відрізнявся не більш ніж на 5 %, отже, відсутність суттєвої відмінності свідчить, що введення функціонального компонента до складу досліджуваної форми не впливає на її розчинність.

За показниками: однорідність вмісту, активна кислотність, масова частка вологи та кількісний вміст кислоти оцтової цукерки відповідають очікуваному рівню. Щодо вмісту редуруючих речовин, отримані значення тільки для серії 9 відповідали ДСТУ 4135:2021, а для серій 7 та 10 перевищували верхню межу регламентованих значень. Але у п. 5.2.8 цього ДСТУ зазначено, що «у корпусах, начинках цукерок, виготовлених з використанням фруктози, ... масову частку редукувальних речовин не нормують». Отже, отримані результати є також очікуваними через вміст глюкози та фруктози.

Також проведені мікроморфологічні дослідження отриманих цукерок, метою яких було підтвердження наявності в цукерках оцтовокислих бактерій, що доводять збереження якості функціонального компонента. З розчину (1,0 г цукерок в 10 см^3 дистильованої води) готували фіксовані препарати та фарбували за методом Грама. В препаратах з усіх трьох серій (7, 9, 10) при мікроскопіюванні спостерігали наявність грамнегативних бактерій у вигляді маленьких циліндричних, дуже коротких клітин, поодиноких, також по дві у вигляді цифри вісім, у вигляді ланцюжків і груп ланцюжків. (Gomes, 2018; Mas, 2014; Štornik, 2016; Yetiman, 2015)

У результаті проведених досліджень вибір було зупинено на складі серії 9, зразки якої мають очікувані результати за органолептичними, технологічними, фізико-хімічними показниками та мікробіологічним контролем наявності оцтовокислих бактерій.

Висновки

Опрацювання, узагальнення і порівняння даних наукових джерел дали змогу запропонувати компоненти для отримання сиропу та загусники для цукеркової маси, раціональну технологію виготовлення цукерок з додаванням натурального яблучного оцту.

Експериментальним шляхом визначено раціональний склад і спосіб отримання пластичної основи желейних цукерок, кількості та способи введення функціонального компонентів, коригентів смаку і запаху.

Дослідження технологічних, фізико-механічних, фізико-хімічних властивостей і мікробіологічний контроль зразків цукерок дають змогу вважати вибір раціонального складу й технології цукерок обґрунтованим.

Результати є підґрунтям для подальших досліджень і розробки технології отримання оригінальних вітчизняних желейних цукерок з лікувально-профілактичними властивостями, що дасть змогу розширити асортимент таких функціональних засобів, орієнтованих на дітей, людей похилого віку та прихильників раціонального підходу до здоров'я.

Література

Віннікова О. І., Рясвська І. М. (2016). Практикум з мікробіології: методичні рекомендації для студентів 2 курсу денного відділення біологічного факультету. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна.

Гладух, Є. В., Чуєшов, В. І. (Ред.). (2018). *Промислова технологія лікарських засобів: баз. підруч. для студ. фармац. ВНЗ (фармац. ф-тів) IV рівня акредитації*. Харків: НФаУ; Львів: Новий Світ-2000.

Державна фармакопея України: у 3 т. Т. 1. (2015). 2-е вид. Харків: ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів».

Здорова їжа: натуральність продуктів харчування стала трендом. (2018). Взято з: <https://rau.ua/novyni/health-food/>.

Кислота оцтова льодова (2023). *Фармацевтична енциклопедія*. Взято з: <https://www.pharmacycyclopedia.com.ua/article/3519/kislota-octova-lodova>

Куриной, А. В., Рыжов, А. А., Гладышев, В. В., Клементьев, В. Г., Дюдюк, А. Д. (2012). Разработка носителя кондитерской лекарственной формы для фармакотерапии и профилактики заболеваний пародонта. *Запорож. мед. журнал*, № 4(73), 68—70.

Миронова А. В. (2015) Оцет може бути корисним тільки, якщо його виготовлено з харчової сировини. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*, 3(94), 51-53. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssia_2015_3_15

Пахуча Е. В., Севідова І. О. (2022) Тенденції розвитку міжнародного ринку функціональних продуктів. *Науково-виробничий журнал «Бізнес-навігатор»*, випуск 1 (68), 83—87. <https://doi.org/10.32847/business-navigator.68-26>

Професор Керол Джонстон пояснив, чому яблучний оцет називають еліксиром здоров'я і молодості. (2020). Взято з: <https://www.epochtimes.com.ua/krasa-ta-zdorovya/profesor-kerol-dzhonston-poyasnyv-chomu-yabluchnyy-ocet-nazyvayut-eliksirom-zdorovya-i-molodosti-125108>.

Тренди світового ринку кондитерських виробів з цукру. (2023). Взято з: <https://export.gov.ua/industry/review/25>.

Чомахавілі, О. Ш. (2017) Набуття прав інтелектуальної власності дитиною. *Науковий вісник Ужгородського національного університету: серія: Право*, Т. 1, вип. 46, 84—87.

Шматченко, Н. В., Касабова, К. Р., & Артамонова, М. В. (2021). *Технологія жувальних цукерок із використанням збагачувальної сировини*. Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: Міжнар. наук.-практ. конф. 18 травня Харків. ч. 2 (с. 129—130). Харків: ХДУХТ.

Davidson, A., & Jaine, T. (2014) *The Oxford Companion to Food*. Oxford University Press.

Diet diary: Functional foods and Japanese FOSHU — Foods For Specified Health Us (2018). Взято з: <https://indianexpress.com/article/lifestyle/health/diet-diary-functional-foods-and-japanese-foshu-5154423/>.

Functional Foods: Superheroes for Health (2023). Взято з: <https://foodinsight.org/eat-a-rainbow-functional-foods-and-their-colorful-components/>.

Gomes, R. J., Borges, M. F., Rosa, M. F., Castro-Gómez, R. J. H., Spinosa, W. A. (2018). Acetic Acid Bacteria in the Food Industry: Systematics, Characteristics and Applications. *Food technology and biotechnology*, 56(2), 139—151. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5593>.

Mas, A., Torija, M. J., García-Parrilla, M. del C., Troncoso, A. M. (2014). Acetic Acid Bacteria and the Production and Quality of Wine Vinegar. *The Scientific World Journal*, 2014, Article ID 394671, 6 pages. <https://doi.org/10.1155/2014/394671>.

Nath, A., Vatai, G., Bánvölgyi, S. (2023). Functional Foods and Bioactive Compounds through Environmentally Benign Emerging Processes. *Processes*, 11(4), 1182.

Nepochatykh, T. Sheremet, S. (2018). Забезпечення якості нового фруктово-ягідного мармеладу з додаванням ламінарії. *Traektoriâ Nauki = Path of Science*, 4 (2), 3001—3007. doi: 10.22178/pos.31-6.

Soliboeva, S. (2023). Functional food products a promising direction of new innovative technologies in dietary. *Science and innovation*, 2(D4), 69—71.

Štormik, A., Skok, B., Trček, J. (2016). Comparison of Cultivable Acetic Acid Bacterial Microbiota in Organic and Conventional Apple Cider Vinegar. *Food technology and biotechnology*, 54(1), 113—119. <https://doi.org/10.17113/ftb.54.01.16.4082>.

Tangso, K. J., Ho, Q. P., Boyd, B. J. (2015). Confectionery-based dose forms. *Current drug delivery*, 12(1), 56—62. <https://doi.org/10.2174/1567201811666140821112637>.

Yassunaka Hata, N. N., Surek, M., Sartori, D., Vassoler Serrato, R., Aparecida Spinosa, W. (2023). Role of Acetic Acid Bacteria in Food and Beverages. *Food technology and biotechnology*, 61(1), 85—103. <https://doi.org/10.17113/ftb.61.01.23.7811>.

Yetiman, A. E., Kesmen, Z. (2015). Identification of acetic acid bacteria in traditionally produced vinegar and mother of vinegar by using different molecular techniques. *International journal of food microbiology*, 204, 9—16. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.013>.

Zhao, Ya. (Red.). (2019). *Specialty Foods: Processing Technology, Quality, and Safety*. UK: Taylor & Francis Ltd.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<http://sw.nuft.edu.ua>).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (prnuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздрукувань на папері формату A4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів статті.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних. **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем APA.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі <https://doi.org/.....>, якщо він є, або посилання на публікацію. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англомовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватися у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5.6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою для **відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.
E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal "Scientific works of the National University of Food Technologies" invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npnuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The electronic version should be submitted in a Microsoft Word document (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5). There should be no blank lines in the manuscript. No extra spaces are allowed between the words. All pages of the manuscript should be numbered.

The number of pages of the research article should be at least 10 (excluding abstracts and references). At least 15 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 25 pages (excluding abstracts and references). At least 40 references should be analyzed in the review article.

The use of automatic translation for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) is not allowed. Translation must be of good quality.

The editors reserve the right to edit the manuscript scientifically and literary.

SEQUENCE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE MANUSCRIPT

1. UDC index.
2. The title of the manuscript (in English, Ukrainian).
3. Full names of the authors in English, Ukrainian (not more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (not less than 1800 characters with spaces). The abstract should be highly informative, it is a separate text document in which the results of the research must be summarized. General phrases, insignificant details and well-known provisions shouldn't be written in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of keywords (5—6 words or key phrases in English, Ukrainian).
6. The structure of the text:
 - Problem definition and its relationship with important practical tasks;
 - Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript;
 - Problem statement (statement of purpose of the manuscript);
 - Presentation of the main material;
 - Conclusions and recommendations for further research.
7. A list of references of their quotation should be presented after the text of the manuscript.

Bibliographic descriptions should be made according to international style APA. Bibliographic descriptions should be submitted in the language of their edition. Links to unpublished materials are not allowed. The list of references should contain links only to recent and relevant studies. At the end of each reference, the DOI identifier is provided in the format <https://doi.org/>, if it is, or a link to the publication. National standards, specifications, textbooks, lecture notes, laboratory workshops and other non-scientific literature must not be referenced. References to patents should be made in the text

of the article, indicating only the number and title of the patent. In the list of references, the sources should be presented in alphabetical order.

The investigations of scientists from all over the world should be analyzed in the article. Based on the analysis of modern articles from English-language journals, the relevance of the topic in the world should be proved, the issues which need to be solved should be identified, and the purpose of the research should be formulated.

8. Tables (in Word and Excel) can be submitted both in the text of the manuscript and in separate files (on separate pages). Each table should have a title, typed in bold, and its serial number if there are several tables. The word “Table” and number are printed in italics; the title is printed in bold. Tables should be in book format and fit freely in the height and width of the journal page.

9. Figures, images and tables should be performed in Corel Draw, Origin on white paper and placed both in the text and in separate files. Captions should be typed in bold directly under the figures. Images must be clear and contrasting (TIF, JPG with a resolution of 300 dpi); the size 6×9. Photos are printed in case of extreme necessity, if they provide information of the significant scientific value.

10. Mathematical formulas should be typed with the correct placing of upper and lower indices. The formulas should be numbered by Arabic numerals in parentheses at the right margin of the page. The indices of Ukrainian abbreviated words should be typed in bold and in lower case. The first word of an index, consisting of two abbreviated words, should be followed by a dot, and the second word has no dot. The numbers in the indexes are typed in upright font. Indexes should be typed in Latin letters and in italics. In formulas, the letters of Latin alphabet are typed in italics; Greek and Ukrainian letters are in upright font.

Chemical formulas should be typed in upright font. Mathematical symbols that make up the chemical formulas should be typed in italics.

Formulas should be put directly into the text. Simple formulas are typed from the keyboard, and complex — using the Microsoft Equation 3.0 object or MathType 5.6. Other equation editors are unacceptable. The characters are inserted only through the symbol table. The contraction of physical units must comply with the rules of the International System of Units (SI).

11. Information about the authors should be given as follows: second name (in uppercase letters), first name and patronymic (in full); academic title; position or profession, place of work; phone number, E-mail.

12. The date when the manuscript was received by the editorial board.

The use of **automatic translation** for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) **is not allowed**. Translation must be of good quality.

The absence of any item listed above; absence of abstracts; non-compliance to the design requirements; spelling, grammatical, stylistic errors; automatic translation of any part of the manuscript are the grounds **for refusal** to accept the manuscript for publication.

The author is fully responsible for compliance with current legislation, including the rules of copyright and the consistency of data (quotations, references, names, etc.).

Editorial office address:

National University of Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B,
room 412
01601 Kyiv,
Ukraine
E-mail: npnuht@ukr.net