



2024

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 30 № 2

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

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2024

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 # 8 from 25th of April, 2024

© NUFT, 2024

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 № 8 від 25 квітня 2024 року

© НУХТ, 2024

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 Тенева

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

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

Анатолій Заїнчковський

Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. 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 Іващук

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 Leskauskaitė	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 Арсенєва 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'яно 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

Міркевич Р. М., Клименко О. М., Міркевич О. М., Полупан В. В., Міркевич Ю. С. Алгоритми і технології перетворення 2D рисунків у програми траєкторій руху роботів

Луцька Н. М., Омельченко О. С. Особливості застосування віртуальних аналізаторів у цифровій інфраструктурі промислового виробництва

Безпека харчових продуктів і виробництв

Шульга О. С., Шульга С. І. Зміни в харчовому законодавстві України за 2023 рік

Біотехнології

Пирог Т. П., П'ятецька Д. В. Асоційовані з рослинами бактерії як продуценти поверхнево-активних речовин

Скороцька О. І., Голубев П. К. Використання дріжджів роду *Saccharomyces* та їх метаболітів для біосинтезу наночастинок

Мірошніков І. М., Пенчук Ю. М., Фалалєєва Т. М., Цирюк О. І., Короткий О. Г. Біосинтез і характеристика пептидів з бактеріцидною активністю

Економіка, менеджмент і маркетинг

Безпалько О. В., Гринюк Ю. М., Редька О. В. Гнучкий робочий графік на підприємстві: законодавче регулювання та особливості впровадження в HR-практику

Механічна та електрична інженерія

Філоненко В. М. Ефективність пароконтактної сушарки жому в енергетичному комплексі «Цукровий завод — ТЕЦ»

Харчові технології

Михалевич А. П., Поліщук Г. Є., Бандура У. Г., Осмак Т. Г. Вплив білків на реологічні характеристики сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки

Кучеренко В. М., Успенко О. В., Марченко А. Ю. Нефільтровані вина в сучасному виноробстві: вплив відсутності фільтрації на фізико-хімічні та органолептичні показники

Automation and information technologies

7 *Mirkevych R., Klymenko O., Mirkevych O., Polupan V., Mirkevych Y.* Algorithms and technologies for converting 2D drawings into programs for robot movement trajectories

19 *Lutska N., Omelchenko O.* Features of utilizing virtual sensors in the digital infrastructure of industrial production

Food Products and Manufacturing Safety

31 *Shulga O., Shulga S.* Food legislation changes of Ukraine for 2023

Biotechnologies

44 *Pirog T., Piatetska D.* Bacteria associated with plants as producers of surfactants

61 *Skrotska O., Holubiev P.* Use of *Saccharomyces* yeast and its metabolites for the biosynthesis of nanoparticles

79 *Miroshnikov I., Penchuk Y., Falalyeyeva T., Tsyryuk O., Korotkyi O.* Biosynthesis and characterization of peptides with bacteriocidal activity

Economy, Management and Marketing

94 *Bezpalko O., Hryniuk Y., Redka O.* Flexible working schedule at the enterprise: legislation and features of implementation in HR-practice

Mechanical and Electrical Engineering

106 *Filonenko V.* Efficiency of the steam-contact dryer for beet pulp in the energy complex "Sugar plant — CHP plant"

Food Technologies

123 *Mykhalevych A., Polishchuk G., Bandura U., Osamak T.* The influence of proteins on the rheological properties of ice cream mixes based on liquid whey concentrates

136 *Kucherenko V., Uspalenko O., Marchenko A.* Unfiltered wines in modern winemaking: impact of non-filtration on physicochemical and sensory characteristics of filtration

-
- Шевченко А. О., Литвинчук С. І.* Зміни структурних одиниць у тісті та хлібі з пшеничного борошна з концентратом гарбузового протеїну і фосфоліпідами 145 *Shevchenko A., Litvynchuk S.* Changes in structural units in wheat flour dough and bread with pumpkin seed protein concentrate and phospholipids
- Сімахіна Г. О., Грегірчак Н. М., Науменко Н. В., Камінська С. В.* Вітамінна цінність і мікробіологічна безпека заморожених плодів вишні при зберіганні 154 *Simakhina G., Gregirchak N., Naumenko N., Kaminska S.* Vitamin value and microbiological safety of frozen cherries during storage
- Мусій Л. Я., Цісарик О. Й., Сливка І. М.* Використання насіння соняшника в технології йогурту 169 *Musii L., Tsisaryk O., Slyvka I.* Use of sunflower seeds in yogurt technology
- Капрельянц Л. В., Пожиткова Л. Г., Велічко Т. О., Охотська М. І., Білик О. А.* Сучасні тренди в омїкс-біотехнологіях — від геноміки до персоналізованих дієт. Частина 2 180 *Kaprelyants L., Pozhirkova L., Velichko T., Okhotska M., Bilyk O.* Modern trends in omics-biotechnologies — from nutrigenomics to personalised diets. Part 2

УДК 681.5

ALGORITHMS AND TECHNOLOGIES FOR CONVERTING 2D DRAWINGS INTO PROGRAMS FOR ROBOT MOVEMENT TRAJECTORIES

R. Mirkevych, O. Klymenko, O. Mirkevych, V. Polupan, Y. Mirkevych
National University of Food Technologies

Key words:

Industrial robot
DXF
RoboDK
G-Code
KRL

Article history:

Received 06.03.2024
Received in revised form
25.03.2024
Accepted 08.04.2024

Corresponding author:

R. Mirkevych
E-mail:
npnuht@ukr.net

Citation: Міркевич Р. М.,
Клименко О. М., Міркевич
О. М., Полупан В. В.,
Міркевич Ю. С. (2024).
Алгоритми і технології перетворення 2D
рисуноків у програми траєкторій руху
роботів. *Наукові праці
НУХТ*, 30(2), 7—18.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-2-3

ABSTRACT

Along with the development of robotics and its implementation in industrial production, work is underway to introduce robots in other non-traditional industries, such as agriculture, medicine, and space exploration. Industrial robots are increasingly used not only in production processes, but also in the service sector. One of the non-traditional fields of industrial robot use has become the art industry.

It was proposed a robotic system capable of drawing art works as a result of image conversion into robot motion trajectory programs. The system consists of a 6-axis robot manipulator equipped with a spring-loaded drawing gripper that holds a ballpoint pen or rapidograph, and a number of algorithms and technologies for image processing and robot trajectory planning. The system receives a digital reference image as input, which is processed by various image transformation algorithms, making an artistic contribution. The data obtained from the input image is converted into lines that the robot reproduces. Processing and conversion of information consists of the following steps, each of which uses specific software: conversion of the input image into a DXF file; conversion of a DXF file into a description of trajectories in GCODE format; generation of KRL robot program with GCODE; execution of a program by a manipulator robot to obtain a picture.

This work is about the art of robotic painting: technology ie machines, robots, computers and sensors are used to paint. Such studies demonstrate the enormous possibilities that can be accessed using industrial robots. But even if robots are used for more conventional industrial applications, there are still lessons to be learned from such projects. Art projects force us to reconsider new ways of using robots in the usual industries.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-3

АЛГОРИТМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ 2D РИСУНКІВ У ПРОГРАМИ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ РОБОТІВ

Р. М. Міркевич, О. М. Клименко, О. М. Міркевич, В. В. Полупан,
Ю. С. Міркевич

Національний університет харчових технологій

Поряд з розвитком робототехніки та застосуванням її в промисловому виробництві ведуться роботи з впровадження роботів в інших нетрадиційних галузях, таких як сільське господарство, медицина, освоєння космосу. Промислові роботи все більше використовуються не лише у виробничих процесах, а й у сфері послуг. Однією з нетрадиційних галузей використання промислових роботів стала галузь мистецтва.

У цьому дослідженні пропонується роботизована система, здатна малювати твори мистецтва в результаті перетворення зображення в програми траєкторій руху робота. Система складається з 6-осьового робота-маніпулятора, обладнаного підпружиненим схватом для малювання, який тримає кулькову ручку або рапідограф, та ряду алгоритмів і технологій для обробки зображень і планування траєкторій руху робота. Система отримує на вхід цифрове еталонне зображення, яке потім обробляється різними алгоритмами перетворення зображення, роблячи художній внесок. Дані, отримані з вхідного зображення, перетворюються на лінії, які відтворює робот. Обробка та перетворення інформації складаються з кроків, де на кожному використовується специфічне програмне забезпечення: перетворення вхідного зображення в DXF файл; перетворення DXF файлу в опис траєкторій у форматі GCODE; генерування KRL програми робота з GCODE; виконання програми роботом-маніпулятором для отримання картини.

Стаття присвячена мистецтву роботизованого живопису: технологія, тобто машини, роботи, комп'ютери та датчики використовуються для малювання. Такі дослідження демонструють величезні можливості, до яких можна отримати доступ, використовуючи промислових роботів. Художні проекти змушують переглянути нові способи застосування роботів у звичних галузях промисловості.

Ключові слова: промисловий робот, DXF, RoboDK, G-Code, KRL.

Постановка проблеми. Однією з нетрадиційних галузей використання стала галузь мистецтва. Мистецтво в його різноманітних формах практикується в усіх людських культурах, адже це здійснення людського бажання виражати емоції та творчий потенціал. Суспільству ХХІ ст. вдалося досягти високого рівня технологічних знань. Незважаючи на те, що мистецтво й технології здаються дуже далекими одне від одного, якщо їх поєднати разом, вони можуть створити нову концепцію з використанням промислових роботів, відому як роботизоване мистецтво (Кас, 1997).

Робототехнічне мистецтво включає багато дисциплін (Jeon, 2017), таких як танець, музика, театр і живопис. Ця стаття присвячена мистецтву роботизованого

живопису: технологія, в якій машини, роботи, комп'ютери й датчики використовуються для малювання.

Ідеї, запропоновані в цій статті, також можуть знайти застосування і в харчовій промисловості, зокрема для декоративного оформлення кондитерських виробів, адже нанесення малюнка на їх поверхню підвищить продуктивність виробництва та зменшить кількість персоналу, задіяного у виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поряд з розвитком роботизації в промисловому виробництві аж до створення роботизованих ліній, цехів, заводів ведуться роботи з впровадження роботів у немашинобудівних галузях, таких як гірська, металургійна промисловості, сільське господарство, медицина, освоєння космосу, дослідження підводного простору. Промислові роботи все більше використовуються не лише у виробничих процесах, а й у сфері послуг. Використання роботів активізувалося через пандемію COVID-19, тому що зросла потреба в безконтактних послугах. Зростання ринку роботів, задіяних у сфері послуг, відбувається завдяки поширенню застосування роботів у нових застосунках, наприклад автоматичних магазинах або автоматичних кав'ярнях, які також забезпечують розширення застосування технології ІОТ до роботів, завдяки чому зменшуються витрати на оплату праці найманих працівників і технічне обслуговування (Міркевич, & Міркевич, 2023).

Уперше термін «промисловий робот» був вжитий у журналі «American metal market» у шістдесятих роках минулого століття і визначався як «механічний компонент, яким можна керувати за допомогою програми, або спеціальний механічний пристрій, керований програмою».

Промислові роботи відрізняються стабільністю, ефективністю та практичністю. Добре сконструйований промисловий робот може не тільки допомагати людям виконувати всі види складної та небезпечної роботи, але й працювати безперервно, що значно підвищує ефективність виробництва. Безсумнівно, він відіграє незамінну роль у трансформації та модернізації традиційного виробництва до сучасного виробництва відповідно до концепції Індустрії 4.0 (Zhang, & Zeng, 2022). Промислові роботи використовуються в багатьох галузях промисловості, на всіх етапах виробництва і в усіх галузях промисловості. Вони використовуються для переміщення деталей, палетизації, упаковки, зварювання, обслуговування машин, фарбування або склеювання (Talaga, 2024).

Одним із перших застосував нову концепцію мистецтва швейцарський скульптор Жан Тінґе (1925—1991). У 1950-х роках він розпочав розробку серії генеративних робіт під назвою *Métamatics* — колекції, що складається з машин, які генерують складні та випадкові моделі. У 1970-х роках англійський професор Гарольд Коен (1928—2016) розробив AARON (Cohen, 2016) — комп'ютерну програму, яка малює стилізовані зображення зі своєї запрограмованої «уяви». Алгоритм був реалізований у малярній машині Гарольда Коена та привернув увагу на міжнародних виставках і в художніх галереях, зокрема в галереї Тейт у Лондоні. Останніми роками в літературі можна знайти багато прикладів машин і роботів для художнього малювання, кожен з яких використовує різні методології й техніки для створення творів мистецтва (Beltramello, Scalera, Seriani, & Gallina, 2020).

В останнє десятиліття багато художників використовували маніпулятори або роботів для створення художньої графіки та живопису. Деякі з них реалізували складні алгоритми для моделювання процесу малювання людиною, здатні відтворювати нефотореалістичні зображення, використовуючи візуальний зворотний зв'язок. У літературі можна знайти кілька прикладів роботизованих систем для художнього малювання, які використовують багато різних інструментів (ручки, олівці та пензлі).

Художники часто впроваджують інноваційні можливості для роботизованих технологій, які інші користувачі не розглядають, наприклад, роботизоване малювання. Щоразу, коли художник використовує робота у своєму проєкті, постають запитання, які стосуються багатьох звичайних можливостей роботів,:

- як зберегти «людський зв'язок» під час створення твору мистецтва за допомогою роботів?

- які нові конструкції можливі при заміні ручного створення твору мистецтва за допомогою робота?

Художники, зазвичай, використовують програмне забезпечення для моделювання та програмування промислових роботів RoboDK, оскільки його простий інтерфейс ідеально підходить для менш досвідчених користувачів і не потребує досконалих знань з користування конкретним типом роботів (Owen-Hill, 2021).

З використанням RoboDK створено декілька відомих творів мистецтва. До них відноситься проєкт виставки, задуманої піонерами цифрового мистецтва Робом і Ніком Картерами. Геніальна виставка «Портрети темної фабрики» представляє промислову робота-руку від KUKA, яку художники назвали Хайді, що створює портрети відомих художників. Хайді отримує фотографію в цифровій формі, застосовує певну обробку зображень за допомогою Google Face API. Завдяки кодуванню програмне забезпечення Autodesk Maya створює остаточне зображення. Робот повинен вміти визначати, куди наносити мазки, їхню довжину, кут нахилу пензля тощо. На цьому етапі процесу робот має чітке уявлення про свою мету, але він не розуміє механізму малювання так, як людина (Nubiola, 2020).

Для створення ще одного цікавого мистецького проєкту використовували технології RoboDK, отримавши в результаті приголомшливий витвір мистецтва. Автоматизоване свердління за допомогою роботів тепер можна знайти в художніх і цифрових арт-проєктах. Це стосується витвору мистецтва, який майстерня Neoset Designs створила для художника Роберта Лонго (Nubiola, 2019). Використовуючи новітню технологію роботизованого свердління, вони змогли просвердлити 40000 отворів з допуском 0,150 мм менш ніж за 2 тижні. Просто просвердлити отвір легко. Проте просвердлити отвір швидко й точно — доволі складно. Основне завдання полягає в тому, щоб свердлити в потрібному місці, дотримуючись бажаних допусків і гарантуючи, що час не буде втрачено. Робот може допомогти прискорити процес, будучи економічно ефективним рішенням. Однак добре відомо, що роботи не точні. Система включала робота KUKA Titan — найбільшого робота KUKA на ринку, обробні шпиндель і поворотний стіл WEISS. Для досягнення бажаного рівня точності також використовувалася вимірювальна система Creaform C-Track. Для калібрування та офлайн-програмування застосували програмне забезпечення RoboDK. Можна було відкалібрувати робота до 0,150 мм — допуску, необхідного для розміщення кожного з 40000 отворів. У

результаті було створено експонат під назвою «Зірка Смерті 2018» за проєктом художника Роберта Лонго (Longo, 2022). Ілюстрація являє собою підвішений глобус із 40000 відполірованих мідних кульових гільз, що символізує зростання кількості смертей під час масових розстрілів у Сполучених Штатах за останні 25 років.

Туристи та місцеві жителі, які подорожували Мюнхеном, Німеччина, у червні 2016 р. мали можливість натрапити на вражаючий автоматичний стенд для малювання, створений SMOCOS за допомогою RoboDK і робота KUKA Robotics IIWA. Відвідувачі могли намалювати свій портрет з допомогою робота. Спочатку знімок клієнта робився камерою і перетворювався у SVG-зображення. Після цього SMOCOS використовував програмне забезпечення моделювання RoboDK для автоматизації друку портретів із зображення svg. RoboDK використовувався для створення та моделювання шляху робота за допомогою офлайн-інструментів програмування та автоматичного надсилання його роботу (Nubiola, 2016).

Описані проєкти демонструють величезні можливості, до яких можна отримати доступ, використовуючи промислового робота та RoboDK. Художні проєкти допомагають віднайти нові можливості застосування роботів у звичних галузях промисловості. Так, у кондитерському цеху Suteria (м. Золотурн, Швейцарія) активно використовується промисловий робот Fanuc LR Mate, який випікає та прикрашає тисячі тортів на рік. Робот FANUC LR Mate, оснащений дозатором для крему, виконує програми, в яких запрограмовані траєкторії руху для нанесення декору на виріб. Роботи FANUC LR Mate довели, що ідеально підходять для виконання цієї делікатної, проте надзвичайно монотонної, як для людини, роботи. Завдяки тому, що в роботів LR Mate радіус робочої зони та спритність співвідносні з людською рукою, вони стали справжньою знахідкою для кондитерського цеху (Brüderli, 2010).

Ідея автоматичного декорування кондитерських виробів не нова. Активно розвивається галузь 3D друку на кондитерських виробках. Принтери друкують харчовими барвниками або кондитерськими сумішами на будь-яких поверхнях. Перевагою 3D-друку в харчовій промисловості є зведення ролі людського чинника майже до нуля, тобто кожен готовий виріб в точності повторюватиме особливості оригінального рецепту і його зовнішнього вигляду. Проте харчові 3D принтери мають ряд обмежень, серед яких можна виділити найсуттєвіші — обмеження розміру продукту, на якому виконується друк, та обмеження типу матеріалу, яким виконується друк. Використання робототехнічних комплексів може усунути ці обмеження, оскільки маніпулятор робота має ширшу робочу область, а обмеження типу матеріалу для друку можна обійти шляхом заміни дозатора, що не завжди технічно можливо зробити для принтера.

Метою дослідження є дослідження та впровадження алгоритмів і технології перетворення 2D та 3D рисунків у програми траєкторій руху роботів для функціонування роботизованої системи, здатної малювати твори мистецтва або виконувати художнє декорування кондитерських виробів.

Матеріали і методи. Використані сучасні наукові матеріали, у яких досліджується використання робототехнічних систем та алгоритмів обробки й перетворення зображень. Як методичне забезпечення застосовано практичні інженерні методи розробки й імплементації робототехнічних систем на виробництвах,

описані в таких міжнародних і галузевих технічних стандартах, як серія стандартів ISO-8373-2021.

У цьому дослідженні подано огляд архітектури роботизованої системи малювання, яка складається як з програмного забезпечення, тобто алгоритмів планування траєкторії та обробки зображень, так і з апаратних компонентів, таких як промисловий робот, схват для тримання ручки, тримач для полотна.

Робот, який використовується в цьому дослідженні, — це KR 10 R900 від Kuka. KUKA KR 10 R900 — це 6-осевий робот (робот-маніпулятор), що працює з навантаженням до 10 кг на відстані до 901 мм, точність позиціонування KUKA KR 10 R900-2 становить 0,03 мм. Такий тип робота відноситься до універсальних, які застосовуються в широкому спектрі технологічних процесів і здатні перепрограмовуватися для різноманітних циклів руху.

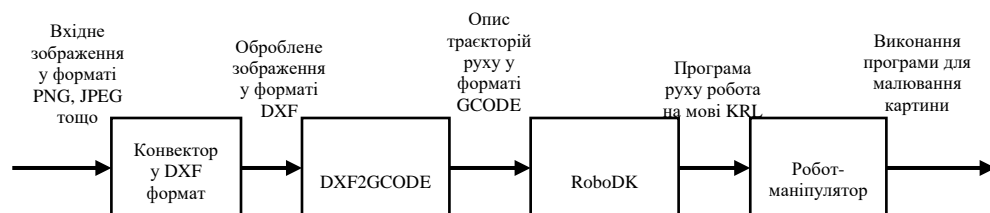


Рис. 1. Структура обробки та перетворення інформації в роботизованій системі малювання

Структуру обробки та перетворення інформації для реалізації кінцевої мети функціонування роботизованої системи малювання представлено на рис. 1. Обробка та перетворення інформації складаються з кроків, де на кожному використовується специфічне програмне забезпечення:

- перетворення вхідного зображення в DXF файл;
- перетворення DXF файлу в опис траєкторій у форматі GCODE;
- генерування KRL програми робота з GCODE;
- виконання програми роботом-маніпулятором для отримання картини.

Викладення основних результатів дослідження. Основною метою кроку конвертування зображення в DXF є перетворення вхідного растрового зображення в PNG чи JPEG форматі у файл векторного зображення DXF формату, що надає можливість отримати вихідне зображення в CAD форматі. Растрове зображення являє собою сітку (растр), зазвичай прямокутну, пікселів, відображених на моніторі, папері та інших відображальних пристроях і матеріалах, де для кожного пікселя кодується його позиція і колір. Векторне зображення (також геометричне моделювання або об'єктно-орієнтована графіка) передбачає створення зображення в комп'ютерній графіці із сукупності геометричних примітивів — точок, ліній, кривих, полігонів, тобто об'єктів, які можна описати математичними виразами.

Векторна графіка для опису зображення використовує вектори, на відміну від растрової графіки, яка описує зображення масивом пікселів (точок). Як конвертер для перетворення растрового зображення у векторне може бути використана

будь-яка програма для графічної обробки зображень, наприклад, Adobe Illustrator, Inkscape або будь-яка інша утиліта, зокрема і online-сервіс (наприклад, Convertio). У цій програми закладені всі математичні алгоритми перетворення зображення для отримання кінцевого результату. В межах пропонованого дослідження як конвертер використовувались редактор Inkscape та online-сервіс Convertio. Приклад растрового зображення, яке було оброблене в межах дослідження, представлено на рис. 2.



Рис. 2. Растрове зображення для подальшого перетворення і виконання роботом

DXF (Drawing Exchange Format) — це формат файлу даних CAD, розроблений Auto-desk для обміну даними CAD між Auto-CAD та іншим програмним забезпеченням. DXF — це відкритий векторний формат даних, який можна розділити на дві категорії: формат ASCII і двійковий формат; ASCII добре читається, але займає багато місця; двійковий формат займає менше місця і читається швидше. Більшість систем САПР можуть читати або виводити файли DXF (Хіе Yuanуан та ін., 2018). Приклад результату перетворення растрового зображення у векторне, яке було оброблене в межах цього дослідження, представлено на рис. 3.

На наступному етапі — перетворення DXF файлу в опис траєкторій у форматі GCODE, використовувалась утиліта DXF2GCODE. DXF2GCODE — це інструмент для перетворення 2D (dxf, pdf, ps) креслень у GCode, сумісний із верстатами з ЧПУ. G-code (також RS-274) є найбільш широко використовуваною мовою програмування пристроїв з числовим програмним управлінням (ЧПУ) і 3D-друком. G-code використовується в основному в автоматизованому виробництві для керування автоматизованими верстатами, а також для програм керування 3D-принтерів. G означає геометрію. G-Code має багато варіантів.



Рис. 3. Векторне зображення для подальшого перетворення і виконання роботом

Інструкції G-коду надаються пристрою керуванням, що повідомляє двигунам, куди рухатися, як швидко рухатися та яким шляхом слідувати. Дві найпоширеніші ситуації полягають у тому, що у токарному верстаті або фрези ріжучий інструмент переміщується відповідно до цих інструкцій по траєкторії інструменту, відрізаючи матеріал і залишаючи лише заготовку. Заготовку точно позиціонують навколо трьох вимірів відносно траєкторії інструменту, і одна або обидві можуть рухатися відносно одна одної. Ця ж концепція також поширюється на неріжучі інструменти, такі як інструменти для формування або полірування, фотоплотування, адитивні методи, такі як 3D-друк, і вимірювальні інструменти. Фрагмент програми у форматі G-CODE представлений на рис. 4. Починаючи з 11 рядка програми вказуються інструкції руху та координати, в які повинен прийти робот для створення картини. Однак програму у форматі G-Code промислові роботи виконувати не можуть, і її, в подальшому, необхідно перетворити в підтримувані формати.

Робот, який використовується в цьому дослідженні, це KR 10 R900 від Kuka. Цей тип роботів програмується на мові KRL. Мова програмування роботів KRL є пропрієтарною мовою програмування, схожою на Pascal, і використовується для керування роботами KUKA. Для того, щоб згенерувати програму у форматі KRL з програми у форматі G-Code, використовувалось програмне забезпечення RoboDK. RoboDK — це програмне забезпечення для автономного програмування та моделювання промислових роботів. Програмне забезпечення для моделювання можна використовувати для багатьох виробничих проєктів, включаючи фрезерування, зварювання, пакування та маркування, палетування, фарбування, калібрування роботів тощо.

У той час, як досвідчені користувачі можуть використовувати RoboDK API, люди, які не програмують, можуть легко створювати складні програми роботів у RoboDK, наводячи вказівник і клацаючи мишею в симульованому комп'ютерному середовищі. Користувачі можуть перевірити рухи свого робота, перш ніж

застосовувати їх у реальному світі. Тим часом програмне забезпечення RoboDK забезпечує переклад цих кліків у код, який розуміє робот.

```
1. G21 (Units in millimeters)
2. G90 (Absolute programming)
3. G64 (Default cutting) G17 (XY plane) G40 (Cancel radius comp.) G49 (Cancel length
comp.)
4. G0 Z 15.000
5. (**LAYER: 0 **)
6. T1 M6
7. S6000
8. (*SHAPE Nr: 0 *)
9. G0 X 34.232 Y 315.554
10. G0 Z 0.000
11. F150
12. G1 Z -1.000
13. F400
14. G1 X 34.045 Y 315.847
15. G1 X 33.864 Y 316.143
16. G1 X 33.690 Y 316.444
17. G1 X 33.522 Y 316.749
18. G1 X 33.362 Y 317.057
19. G1 X 33.209 Y 317.369
...
15100. G1 X 66.266 Y 8.865
15101. G1 X 66.212 Y 8.992
15102. G1 X 66.164 Y 9.122
15103. G1 X 66.123 Y 9.254
15104. G1 X 66.089 Y 9.389
15105. G1 X 66.062 Y 9.524
15106. G1 X 66.042 Y 9.661
15107. F150
15108. G1 Z 0.000
15109. G0 Z 15.000
15110. G0 X 0.000 Y 0.000
15111. M2 (Program end)
```

Рис. 4. Фрагмент програми у форматі G-Code

RoboDK має потужні інструменти та бібліотеки для роботизованої механообробки, що надає можливість використовувати промислового робота як п'яти-осьовий верстат з ЧПУ або 3D-принтера. Це дає змогу налагоджувати і перетворювати програми ЧПУ (файли G-code або APT-CLS) в керуючі програми робота у форматі KRL. RoboDK автоматично оптимізує траєкторію інструменту, за винятком виникнення невизначених положень (сингулярностей), виходу за межі робочої зони та зіткнень з навколишніми об'єктами. Після додавання програми в форматі G-Code в RoboDK та її налаштування й позиціонування відносно робота та його інструмента отримується можливість візуально оцінити результат конвертації та змодельовати варіанти його виконання без запуску безпосередньо на промисловому роботі. Після перевірки програми та внесення змін для забезпечення необхідного результату RoboDK дає змогу згенерувати програму на мові

KRL, яку можна завантажити в контролер робота для подальшого тестування і відлагодження на реальному обладнанні (рис. 6).

```
1. &ACCESS RVP1
2. &REL 4
3. DEF p1_src_1()
4. GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )
5. INTERRUPT ON 3
6. $APO.CDIS = 0.5000
7. BAS (#INITMOV,0)
8. BAS (#VEL_PTP,10)
9. BAS (#ACC_PTP,20)
10. ;$BASE=BASE_DATA[1]
11. $BASE = {FRAME: X 304.800,Y 40.000,Z 232.000,A 0.000,B 40.000,C 0.000}
12. ;$TOOL=TOOL_DATA[24]
13. $TOOL = {FRAME: X 0.000,Y 0.000,Z 346.000,A 0.000,B 0.000,C 0.000}
14. $advance=5
15. $VEL.CP=0.05
16. PTP {A1 0.000, A2 -90.000, A3 90.000, A4 0.000, A5 0.000, A6 0.000, E1 0, E2 0, E3 0, E4
0, E5 0, E6 0}
17. LIN {X 34.232,Y 315.554,Z 15.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
18. LIN {X 34.232,Y 315.554,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
19. LIN {X 34.045,Y 315.847,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
20. LIN {X 33.864,Y 316.143,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
21. LIN {X 33.690,Y 316.444,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
22. LIN {X 33.522,Y 316.749,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
23. LIN {X 33.362,Y 317.057,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
24. LIN {X 33.209,Y 317.369,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
...
15123. LIN {X 66.266,Y 8.865,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
15124. LIN {X 66.212,Y 8.992,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
15125. LIN {X 66.164,Y 9.122,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
15126. LIN {X 66.123,Y 9.254,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
15127. LIN {X 66.089,Y 9.389,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
15128. LIN {X 66.062,Y 9.524,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
15129. LIN {X 66.042,Y 9.661,Z 0.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
15130. LIN {X 66.042,Y 9.661,Z 15.000,A -180.000,B 0.000,C 180.000} C_DIS
15131. PTP {A1 0.000, A2 -90.000, A3 90.000, A4 0.000, A5 0.000, A6 0.000, E1 0, E2 0, E3 0,
E4 0, E5 0, E6 0}
15132. END
```

Рис. 5. Фрагмент програми у форматі KRL

На рис. 5 зображений фрагмент отриманої програми. Рядок 11 та рядок 12 використовується для налаштування координат робочого об'єкта та параметрів інструмента, а починаючи з рядка 16 задається тип руху маніпулятора та координати, в які маніпулятор повинен доставити робочий орган — кулькову ручку або рапідограф.

Запропоновані алгоритми й технології обробки є універсальними, тобто можуть бути використані не лише в галузі роботизованого мистецтва. Наприклад, якщо замінити робочий орган робота на інструмент різьби по дереву, можна наносити будь-які візерунки на меблі або інші вироби, якщо замінити робочий орган

на дозатор подачі крему, можна виконувати автоматичне декорування кондитерських виробів.



Рис. 6. Виконання програми промисловим роботом

Висновки

Завдяки моделюванню й експериментальній перевірці алгоритмів і технології перетворення 2D рисунків у програми траєкторій руху роботів було встановлено, що отримані траєкторії можна змоделювати та застосувати до фактичного виконання роботом. Завдяки цьому можна безпосередньо створювати програми виконання операцій маніпулятором, а потім імпортувати виконуваний програмний файл у робототехнічний комплекс для реалізації поставлених завдань. У процесі реалізації системи офлайн-програмування промислового робота ключовим моментом є вилучення координат траєкторії у файл DXF. Часткові дані про координати траєкторії мають бути перетворені та дискретні відповідно до геометричних відповідностей.

Отримані результати демонструють величезні можливості, до яких можна отримати доступ, використовуючи промислових роботів. Художні проекти зму-

шують переглянути нові способи застосування роботів у звичних галузях промисловості. Описані алгоритми перетворення можна використовувати для автоматичної генерації програм роботів з САД-файлів, які відкривають широкі можливості застосування в харчовій промисловості, наприклад, кондитерській галузі.

Література

- Міркевич, Р. М., Міркевич, О. М. (2023). *Розвиток промислової робототехніки в контексті Індустрії 4.0*. X міжнародна науково-технічна internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ, НУХТ.
- Beltramello, A., Scalera, L., Seriani, S. and Gallina, P. (2020). Artistic Robotic Painting Using the Palette Knife Technique. *Robotics* 9, 15. doi:10.3390/robotics9010015.
- Calinon, S., Epiney, J., Billard, A. A. (2005). *Humanoid Robot Drawing Human Portraits*. IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 161—166. doi:10.1109/ICHR.2005.1573562.
- Cohen, P. (2016). Harold Cohen and AARON. *AI Magazine*. 37, 63—66. doi:10.1609/aimag.v37i4.2695.
- Jeon, M. (2017). Robotic Arts: Current Practices, Potentials, and Implications. *Multimodal Technol. Interact.*, 1, 5. doi:10.3390/mti1020005.
- Кас, Е. (1997). Foundation and Development of Robotic Art. *Art Journal*. 56, 60—67. doi:10.2307/777838.
- Longo, R. (2022). BODY HAMMER & DEATH STAR. Взято з <https://www.robertlongo.com/series/bodyhammer/>.
- Michael, Bruderli (2010). Suteria deploys robots to decorate cake bases and covers. *Yellow success story. Robot. Food*. Взято з <https://www.fanuc.eu/ua/en/customer-cases/suteria>.
- Nubiola, A. (2016). Instant Portraits By Your Neighbourhood Robot. *RoboDK Blog*. Взято з <https://robodk.com/blog/robot-instant-portraits/>.
- Nubiola, A. (2019). When Aerospace Technology Meets Art. *RoboDK Blog*. Взято з <https://robodk.com/blog/accurate-robot-drilling/>.
- Nubiola, A. (2020). Lights Out Robot Painting. *RoboDK Blog*. Взято з <https://robodk.com/blog/lights-out-robot-painting/>.
- Owen-Hill, A. (2021) Bridging the Gap Between Abstract Art and Robotic Drawing. *RoboDK Blog*. Взято з <https://robodk.com/blog/abstract-art-robotic-drawing/>.
- Talaga, A. (2024). Промислові роботи Kawasaki Robotics — галузі застосування. Взято з <https://kawasakirobotics.com/ua/>.
- Tinguely, J. Biography Jean Tinguely. Museum Tinguely, Basel. Взято з <https://www.tinguely.ch/en/tinguely/tinguely-biographie.html>.
- Xie, Yuanyuan, Wang, Chongchang. (2018). Realization of Digital Topographic Map Coordinate System Transformation in the CAD[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*. 41(6):192—197.
- Xiong, Feng, Chen, Yongbin, Wang, Guitang. (2017). *Automatic path generation in 2-D detection based on DXF file[C]*. IEEE 13th International Conference on Electronic Measurement & Instruments.
- Zijie, Zhang, Jing, Zeng. (2022). A Review on Development and Application of Industrial Robot. *Academic Journal of Science and Technology*. 2(2), 78.

FEATURES OF UTILIZING VIRTUAL SENSORS IN THE DIGITAL INFRASTRUCTURE OF INDUSTRIAL PRODUCTION

N. Lutska, O. Omelchenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Virtual sensor
Industrial production
Automation
Model
Machine learning*

Article history:

Received 12.03.2024
Received in revised form
29.03.2024
Accepted 16.04.2024

Corresponding author:

N. Lutska

E-mail:

lutskanm2017@gmail.com

Citation: Луцька Н. М., Омельченко О. С. (2024). Особливості застосування віртуальних аналізаторів у цифровій інфраструктурі промислового виробництва. *Наукові праці НУХТ*, 30(2), 19—30. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-4

ABSTRACT

The introduction of Industry 4.0 innovations in industry allows collect and analyze efficiently technological data, which contributes to improved quality control and optimization of production processes. Virtual sensors integrated into the digital infrastructure provide convenient monitoring of key production parameters, ensuring consistent product quality and efficient use of resources. The flexibility and variety of machine learning models allow to select their variants and change the settings depending on the nature of the target data, making virtual sensors versatile, but configurable tools for working with information.

The purpose of the work was the analysis, development and research of virtual sensors in the digital infrastructure of industrial production in order to improve quality control and optimize production processes. Modern methods of creating intelligent automated decision support subsystems in accordance with the concept of Industry 4.0, in particular, methods of system analysis and machine learning are used in the work.

A control system for the distillation department, which uses model virtual sensors based on artificial neural networks, in particular NARX was developed. Different architectures of such networks were analyzed in order to determine the most effective structure for predicting the current values of fractions in the distillation column. The optimal configuration turned out to be a NARX network with 64 neurons in one hidden layer, providing a root mean square error of less than $10^{-3}\%$ on the test sample, which guarantees the reliability and accuracy of the virtual sensor. Such a model sensor is the basis of the created system for supporting operational decision-making on the correction of technological modes of production and significantly improves the time, quality and speed of operational decision-making. In addition, the implementation of virtual sensors also reduces equipment maintenance costs.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ АНАЛІЗАТОРІВ У ЦИФРОВІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Н. М. Луцька, О. С. Омельченко

Національний університет харчових технологій

Упровадження інновацій Індустрії 4.0 в промисловості дає змогу ефективно збирати й аналізувати технологічні дані, що сприяє покращенню контролю якості та оптимізації виробничих процесів. Віртуальні аналізатори, інтегровані в цифрову інфраструктуру, надають зручний моніторинг ключових параметрів виробництва, що забезпечує стабільну якість продукції та ефективно використання ресурсів. Гнучкість і різноманітність моделей машинного навчання дають змогу підбирати варіанти та змінювати налаштування залежно від характеру цільових даних, роблячи віртуальні аналізатори універсальними, але вимогливіми до конфігурації інструментами для роботи з інформацією.

Метою статті є аналіз, розробка та дослідження віртуальних аналізаторів у цифровій інфраструктурі промислового виробництва з метою покращення контролю якості й оптимізації виробничих процесів. Використані сучасні методи побудови інтелектуальних автоматизованих підсистем підтримки прийняття рішень відповідно до концепції Індустрії 4.0, зокрема методи системного аналізу та машинного навчання.

Авторами розроблена система управління для ректифікаційного відділення, яка використовує модельні віртуальні датчики на базі штучних нейронних мереж, зокрема NARX. Різні архітектури таких мереж аналізувалися з метою визначення найефективнішої структури для прогнозування поточних значень фракцій у ректифікаційній колоні. Оптимальною конфігурацією виявилася NARX-мережа з 64 нейронами в одному прихованому шарі, забезпечуючи середньоквадратичну помилку на тестовій вибірці менше $10^{-3}\%$, що гарантує надійність і точність роботи віртуального аналізатора. Такий модельний датчик лежить в основі створеної системи підтримки прийняття оперативних рішень щодо корекції технологічних режимів виробництва і суттєво покращує час, якість і швидкість прийняття оперативних рішень. Крім того, впровадження віртуальних аналізаторів також зменшує витрати на обслуговування обладнання.

Ключові слова: віртуальний датчик, промислове виробництво, автоматизація, модель, машинне навчання.

Постановка проблеми. Віртуальні аналізатори, м'які датчики або віртуальні сенсори — це математичні моделі, які використовують дані з інших датчиків і параметрів процесу для оцінки значень фізичних величин, які неможливо або дорого виміряти безпосередньо (Stavropoulos, Violos, Tsanakas, & Leivadreas, 2023). Вони часто використовуються в промислових технологічних процесах, де традиційні фізичні датчики можуть бути ненадійними або нереалізованими, наприклад, у хімічній і фармацевтичній промисловості. Віртуальні датчики генерують дані

шляхом об'єднання інформації, отриманої синхронно або асинхронно від фізичних або інших віртуальних датчиків (Martin, Kühl, & Satzger, 2021). Порівняння фізичних і віртуальних датчиків вказує на те, що фізичні датчики можуть бути зашумлені, перешкоджати один одному, втрачати точність з часом або бути недоступними через обмеження простору або умов. У той же час віртуальні датчики замінюють підмножину фізичних датчиків віртуальними, забезпечуючи моніторинг недоступних місць, зменшуючи витрати на розгортання датчиків, забезпечуючи резервне рішення та, зрештою, покращуючи надійність фізичних систем.

Розробка віртуальних аналізаторів є актуальним і важливим завданням в епоху цифрової трансформації, де зростає значення автоматизації, оптимізації виробництва та розвитку інтелектуальних систем. Віртуальні аналізатори стають невід'ємною складовою розвитку Індустрії 4.0 та 5.0, допомагаючи підприємствам підвищувати продуктивність, зменшувати витрати та покращувати якість продукції (Cristaldi, Ferrero, Macchi, Mehrafshan, & Arpaia, 2020). В контексті Індустрії 4.0 та 5.0 віртуальні аналізатори сприяють вдосконаленню процесів виробництва, забезпечують моніторинг та аналіз даних у реальному часі, а також допомагають оптимізувати прийняття рішень на основі цих даних. Щодо Індустрії 4.0, віртуальні аналізатори допомагають виробникам автоматизувати й оптимізувати процеси виробництва, виявляти потенційні несправності або «вузькі місця» у виробничому середовищі, а також прогнозувати витрати та ресурси, що дає змогу ефективніше використовувати ресурси та зменшувати втрати. Щодо Індустрії 5.0, де акцент зміщується з автоматизації до співпраці між людьми та машинами, віртуальні аналізатори можуть відігравати важливу роль у забезпеченні зв'язку між цими сторонами, надаючи інтелектуальний аналіз та інтерпретацію даних, що допомагає людям приймати більш обґрунтовані рішення та керувати процесами виробництва більш ефективно.

Отже, розробка віртуальних аналізаторів є необхідною для подальшого розвитку Індустрії 4.0 та успішного впровадження концепції Індустрії 5.0. Ці технології допомагають підприємствам ефективно використовувати дані, автоматизувати процеси та підвищувати загальну продуктивність, що стає важливим елементом конкурентної переваги в епоху цифрової трансформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні міжнародні публікації демонструють різноманітні аспекти використання віртуальних аналізаторів у цифровому середовищі різних видів виробництва, зосереджуючись на розробці нових методів і технологій для ефективного моніторингу й управління виробництвом (Jiang, Yin, Dong, & Kaynak, 2020). Більшість з них вказують на те, що використання віртуальних аналізаторів дає змогу підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати та забезпечити якість продукції. Деякі дослідження (Sun, & Ge, 2021; Yuan, Qi, Wang, & Xia, 2020) висвітлюють важливість впровадження штучного інтелекту й аналітики даних для автоматизації й оптимізації виробничих процесів у цьому секторі.

У (Brunello, Urgolo, Pittino, Montvay, & Montanari, 2021) виділяють три основні підходи до розробки моделі віртуального датчика: на основі фізико-хімічних законів процесів, на основі експертних знань і на основі даних. Ці підходи відрізняються тим, як встановлюється взаємозв'язок між входними параметрами та вихідним значенням датчика. Датчики на основі фізико-хімічних законів побудовані

на основі матеріальних і теплових балансів, які наявні в технологічних процесах (Heras-Cervantes, Anzures-Marin, del Carmen Téllez-Anguiano, del Carmen García-Ramírez, & Correa-Gómez, 2016). Датчики на основі знань використовують експертне знання для чіткого визначення взаємозв'язків між вхідними значеннями та виходом датчика (Liu, & Sun, 2023). Методи, керовані даними (Kadlec, Gabrys, Strandt, 2009), є основним підходом до навчання штучного інтелекту на основі історичних даних.

Застосування методів машинного навчання при розробці віртуальних датчиків стає все більш поширеним у сучасних технологічних системах (Curreri, Graziani, & Xibilia, 2020; Curreri, Patanè, & Xibilia, 2021). Однією з основних переваг є можливість автоматизації процесу аналізу й обробки великих обсягів даних, що надходять від датчиків (Луцька, Власенко, & Заєць, 2023). Методи машинного навчання дають змогу виявляти складні залежності в даних і розробляти моделі прогнозування, що покращує точність і надійність віртуальних датчиків. Крім того, за допомогою машинного навчання можна автоматично підлаштовувати параметри віртуальних датчиків під змінні умови виробництва або середовища. Проте їм притаманні і певні недоліки, такі як потреба у великій кількості даних для навчання моделей, можливість перенавчання та складність інтерпретації отриманих результатів. Також важливо враховувати проблеми з кількістю та якістю даних у реальних умовах і забезпечення захисту від потенційних атак або впливу недостовірних даних у системах, що використовують віртуальні датчики на основі машинного навчання (Омельченко, & Луцька, 2024).

Використання віртуальних датчиків у системі автоматизованого управління технологічними процесами є ключовим елементом цифрової трансформації в промисловості (Rotondo, & Puig, 2021). Ці датчики забезпечують можливість визначення та аналізу даних у режимі реального часу, що дає змогу точно контролювати й оптимізувати технологічні процеси. Віртуальні датчики здатні моделювати різні параметри, які не можуть бути безпосередньо виміряні, і використовуються для прогнозування рівнів виробництва, покращення якості продукції та уникнення непередбачених ситуацій. Основними перевагами використання віртуальних датчиків є зменшення витрат на обладнання та обслуговування, підвищення точності вимірювань і збільшення продуктивності. Однак недоліками можуть бути складність побудови моделей і потреба в великій кількості даних для їх навчання, а також можливість виникнення неточностей через неповноту або недостовірність вхідних даних.

Використання віртуальних датчиків у структурі цифрового двійника промислового підприємства, в тому числі харчового, дає змогу імітувати реальні умови виробництва й аналізувати в реальному часі різноманітні технологічні змінні виробничих процесів (Cai, Starly, Cohen, & Lee, 2017; Li et al., 2021; Tiainen, Miettinen, Viitala, Hiekkanen, & Kuosmanen, 2019). Це сприяє створенню точної віртуальної моделі виробничого середовища, що полегшує оптимізацію та контроль якості продукції, а також удосконалює управління виробничими процесами на підприємстві. Різниця між цифровим двійником промислового виробництва та віртуальним датчиком полягає у їхній функціональності та масштабі застосування. Цифровий двійник промислового виробництва являє собою комплексну віртуальну модель системи виробництва, охоплюючи всі аспекти виробництва — від

постачання сировини до розподілу готової продукції, тоді як віртуальний датчик функціонує як імітація реального датчика, здатного вимірювати певні технологічні змінні, інтегрується з цифровим двійником або іншими системами для забезпечення збору й аналізу даних у реальному часі. Водночас можливе розширення використання віртуальних датчиків і поза межами цифрового двійника, наприклад, в інших сферах промисловості або навіть у дослідженнях і навчанні. Відтак, віртуальні датчики можуть знайти застосування у великій кількості індустріальних та академічних сценаріїв, сприяючи збору та аналізу даних для різноманітних цілей.

Загалом, останні дослідження та публікації свідчать про значний потенціал використання віртуальних аналізаторів у цифровій інфраструктурі промислового виробництва та необхідність подальшого розвитку в цій сфері для забезпечення стійкого та інноваційного прогресу в промисловості.

Мета дослідження: розробка, дослідження та аналіз віртуальних аналізаторів у цифровій інфраструктурі спиртового виробництва, що направлені на вдосконалення контролю якості та оптимізації виробничих процесів.

Матеріали і методи. Віртуальні сенсори в контексті Індустрії 4.0 і 5.0 відіграють важливу роль у забезпеченні автоматизації та цифрової трансформації промислових процесів. На рис. 1 зображена класифікація віртуальних сенсорів відповідно до концепцій Індустрії 4.0 та 5.0, в якій визначені промислові задачі, для яких їх застосування буде виправданим та обґрунтованим.

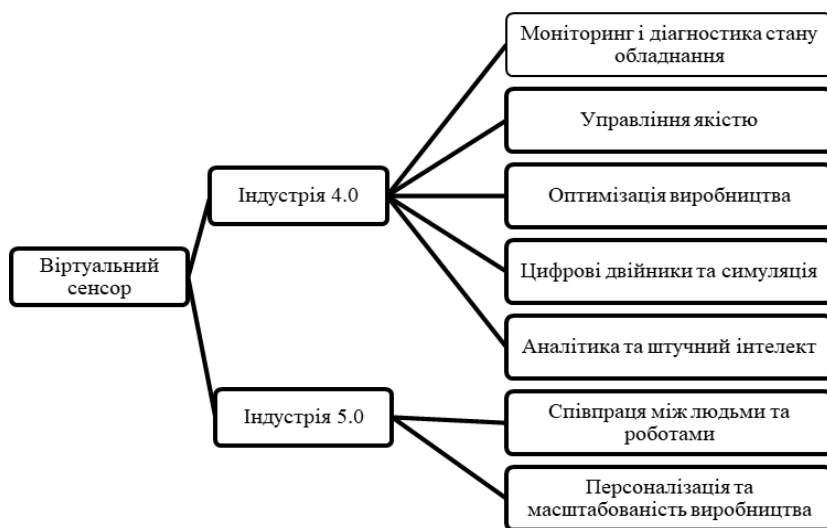


Рис. 1. Класифікація віртуальних датчиків щодо виробничих завдань

Зокрема, віртуальні сенсори можуть вимірювати параметри стану обладнання та діагностувати можливі несправності або зношування, що допоможе виробникам підтримувати обладнання в справному стані та планувати обслуговування заздалегідь. Віртуальні сенсори можуть оцінювати додаткові технологічні змінні,

які безпосередньо впливають на якість виробництва, але не можуть бути вимірними автоматично, такі як концентрація, температура, вологість тощо, що дасть змогу створювати зворотні зв'язки за цими змінними, тобто автоматично контролювати і підтримувати якість продукції. Віртуальні сенсори можуть надавати дані для оптимізації виробничих процесів, зокрема в управлінні запасами, логістичних операціях і виробничому розкладі. Як вже зазначалося, віртуальні датчики можуть служити для створення цифрової копії фізичного об'єкта або системи (цифрового двійника), а також для симуляції виробничих процесів та взаємодії між різними складовими системи. Віртуальні сенсори можуть постачати дані для аналізу штучним інтелектом, щоб виявляти та прогнозувати патерни виробництва й ефективності, що допоможуть приймати більш обґрунтовані рішення операторам-технологам та управлінському персоналу.

Також віртуальні сенсори можуть допомагати у взаємодії між людьми та роботами, надаючи дані з реальних датчиків і віртуальних сенсорів для забезпечення безпечної й ефективної спільної роботи. Віртуальні сенсори можуть забезпечувати дані для індивідуальної настроюваності виробництва та здатності масштабувати виробництво залежно від потреб споживачів.

Віртуальні сенсори можна класифікувати відносно задач на різних рівнях автоматизації та керування, відповідно до архітектури виробничої системи. На рис. 2 відображено місце та задачі віртуальних датчиків в ієрархії управління виробництвом, починаючи від контролю процесів на заводі і закінчуючи оптимізацією бізнес-процесів на рівні управління підприємством.

Розглянемо віртуальні аналізатори для моніторингу й управління процесами, що засновані на модельних датчиках, які аналізують дані з реальних фізичних датчиків і відтворюють віртуальний аналог цих датчиків для надання додаткової інформації або компенсації можливих збоїв. Такі модельні датчики являють собою програмні або математичні моделі, які забезпечують непрямі вимірювання змінної процесу або абстрактної умови на основі даних, зібраних фізичними (або іншими віртуальними) датчиками, що використовують функцію синтезу. Вони генерують віртуальні вимірювання або дані на основі імітації реальних процесів або фізичних явищ.

Модельні сенсори використовуються для симуляції даних, тобто вони є віртуальними даними (цифровим двійником), які призначені для прогнозування значень на основі попередніх вимірювань і даних про стан системи. Також вони використовуються для тестування та для корекції даних з реальних датчиків шляхом порівняння віртуальних та реальних даних і виявлення можливих помилок або помилок. Зрештою, модельні датчики можуть бути корисними для навчання операторів або інженерів і для відображення даних у вигляді графіків або діаграм.

Викладення основних результатів дослідження. У процесі перегонки бражки (виробництва алкоголю), нафти (виробництва нафтопродуктів) або рапсової олії (виробництво біодизелю) використовується термічна обробка і дистиляція для розділення компонентів за їх температурними характеристиками. Важкі та легкі компоненти відповідають різним фракціям, що виділяються під час цього процесу залежно від їх температур кипіння.

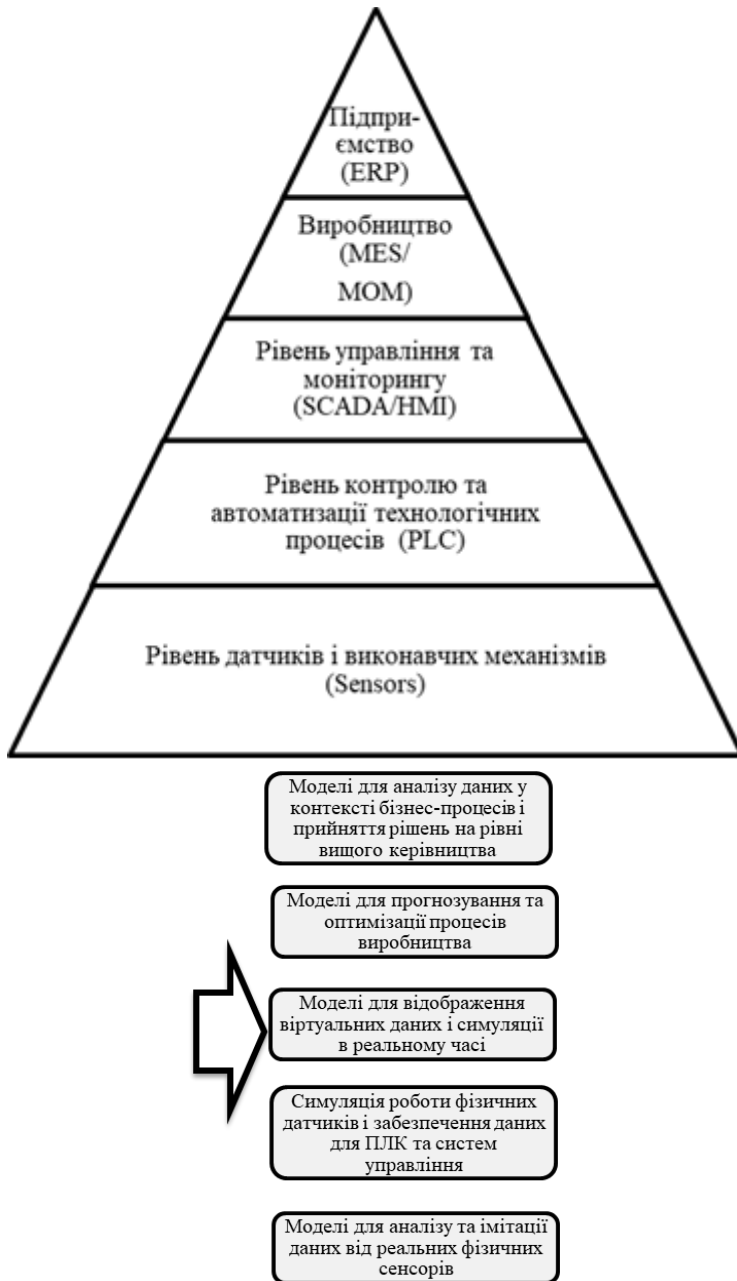


Рис. 2. Віртуальні сенсори в контексті рівнів управління підприємством

Розглянемо модельний сенсор дистиляційної колони, що використовується для розділення двох компонентів, який математично можна описати такою формулою:

$$\bar{y}(t) = F(\bar{x}(t), t), \quad \bar{y}(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix}, \quad \bar{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \dots \\ x_n(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де $\bar{y}(t)$ — векторний сигнал, що виробляє віртуальний датчик, який складається з мольних часток важкої ($y_1(t)$) та легкої ($y_2(t)$) фракцій, виражених у відсотках; $\bar{x}(t)$ — це вектор розмірності n , який складається з сигналів фізичних або віртуальних датчиків, які використовуються для генерації $\bar{y}(t)$; $F(\bar{x}(t), t)$ — є функцією (математичною моделлю) перетворення вхідних сигналів у вихідні.

Для процесу перегонки бражки (спиртове виробництво) значення $y_1(t)$ буде відповідати воді та іншим важким компонентам, а $y_2(t)$ компонентом буде етанол та інші легкі спиртовмісні речовини. У технологічному процесі первинної перегонки рапсової олії для виробництва біопалива до легких фракцій належить біодизельне паливо, важкі фракції — це воски та інші речовини. При первинній перегонці нафтопродуктів розділяються компоненти відповідно до їх температур кипіння, включаючи легкі фракції, такі як гази та бензин, середні фракції, такі як дизельне паливо та керосин, та важкі фракції, які утворюють мазут та інші важкі нафтопродукти.

На промисловому виробництві множину змінних, які визначають якість напівпродукту та готового спирту, можна розділити на три групи: вимірювані автоматично (з автоматизованої системи керування (АСУ) процесом), вимірювані лабораторно та розраховані. Вектор $\bar{y}(t)$ належить, як правило, до останніх двох, тому визначення його поточних значень, які відповідають періоду опитування фізичних датчиків від системи автоматизації буде завданням віртуального аналізатора. Тоді значення мольних часток важкої та легкої фракцій стануть корисними для контролю й оптимізації процесу ректифікації з метою покращення якості та ефективності виробництва продукту. Зокрема, ці показники можуть використовуватися для контролю температурного профілю в колоні ректифікації та для оптимізації витрати пари в колоні тощо.

Розглядалася модель побудови вектора $\bar{y}(t)$ на експериментальних даних, які отримані шляхом імітаційного моделювання процесу дистиляції в Aspen HYSYS. У табл. 1 наведені елементи вектора $\bar{x}(t)$ та їх опис.

Таблиця 1. Опис вхідних змінні віртуального аналізатора

Позначення	Опис	Примітка
x_1	Рівень рідини в конденсаторі, %	Фізичний датчик 1
x_2	Тиск у конденсаторі, кПа	Фізичний датчик 2
x_3	Рівень рідини у ребойлері, %	Фізичний датчик 3
x_4	Масова швидкість потоку живлення, кг/с	Фізичний датчик 4
x_5	Масова швидкість верхнього вихідного потоку, кг/с	Фізичний датчик 5
x_6	Чистий масовий потік у головній башті, кг/с	Фізичний датчик 6
x_7	Температура на тарілці живлення, °C	Фізичний датчик 7

Враховуючи, що процес є нелінійним і динамічним, для формування функції $F(\bar{x}(t), t)$ використано структуру нейронної мережі з нелінійною авторегресією

та з екзогенними входами (NARX — Nonlinear AutoRegressive with eXogenous inputs neural network), що є спеціальним типом рекурентних нейронних мереж, які використовуються для моделювання та передбачення часових рядів. Така модель складається з двох головних частин: авторегресійного шару (який використовується для збереження інформації про минулі значення вхідного часового ряду) і шару зовнішніх входів (який отримує зовнішні сигнали, що допомагають у прогнозуванні).

Для навчання нейронної мережі використано метод оптимізації Левенберга-Марквардта з баєсівською регуляризациєю, який мінімізує комбінацію квадратичних помилок і ваг, а потім визначає правильну комбінацію, щоб створити мережу, яка добре узагальнює. Для оцінки навчання використано два критерії — середньоквадратичну помилку (MSE) на навчальних і тестових даних та продуктивність мережі (Perform). Перша визначає наскільки добре нейронна мережа відповідає реальним результатам, друга — наскільки добре нейронна мережа адаптується до вхідних даних під час тренування. Результати навчання на найкращих архітектурах представлені в табл. 2, на рис. 3 та рис. 4.

Таблиця 2. Оцінки моделей

Позначення	Архітектура нейронної мережі	Значення оцінок		
		дані навчання		дані перевірки
		MSE	Perform	MSE
nn1	NARX-модель з двошаровою архітектурою та 16 нейронами в кожному шарі	6.6053e-05	3.3026e-05	0.0124
nn2	NARX-модель на 64 нейрони в одному прихованому шарі	1.1331e-06	5.6654e-07	4.7100e-04
nn3	NARX-модель на 32 нейронами в одному прихованому шарі	6.4432e-06	3.2216e-06	0.0049
nn4	NARX-модель на 16 нейронів в одному прихованому шарі	2.5697e-07	1.2849e-07	0.0255

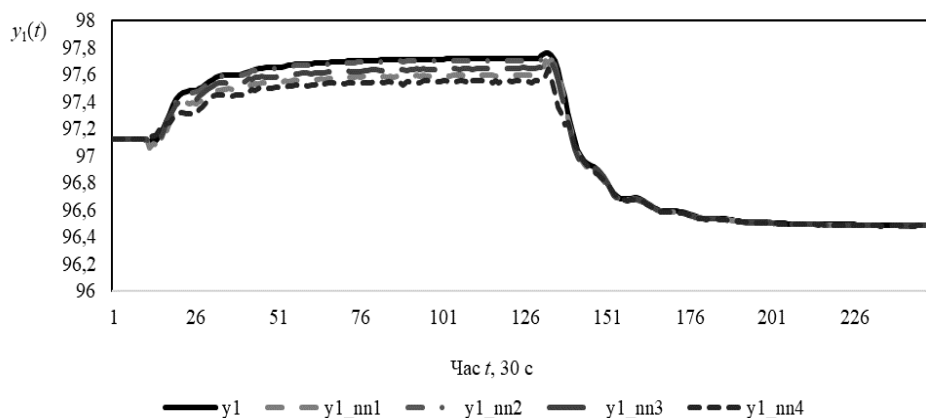


Рис. 3. Результати моделювання (важка фракція)

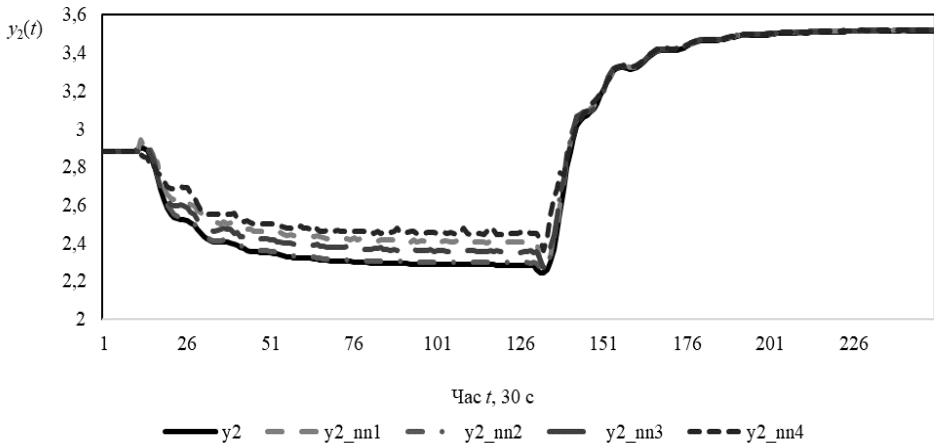


Рис. 4. Результати моделювання (легка фракція)

Найкращі результати показала мережа з архітектурою nn2, значення MSE якої на даних тестування становлять менше $10^{-30}\%$. Інші архітектури, навіть з двома прихованими шарами, мають неприпустимо велику MSE на тестовій вибірці.

На рис. 5 наведено структурну схему корекції технологічних режимів ректифікаційного відділення з використанням віртуальних модельних датчиків. Останні в режимі реального часу (з інтервалом опитування автоматичних датчиків з АСУ відділення) надають інформацію $\bar{y}_{vs}(t)$ для оперативного персоналу для прийняття своєчасних рішень щодо зміни технологічного режиму виробництва. Дані від лабораторії $\bar{y}(t)$ використовуються для перевірки та переналагодження моделі віртуальних датчиків.

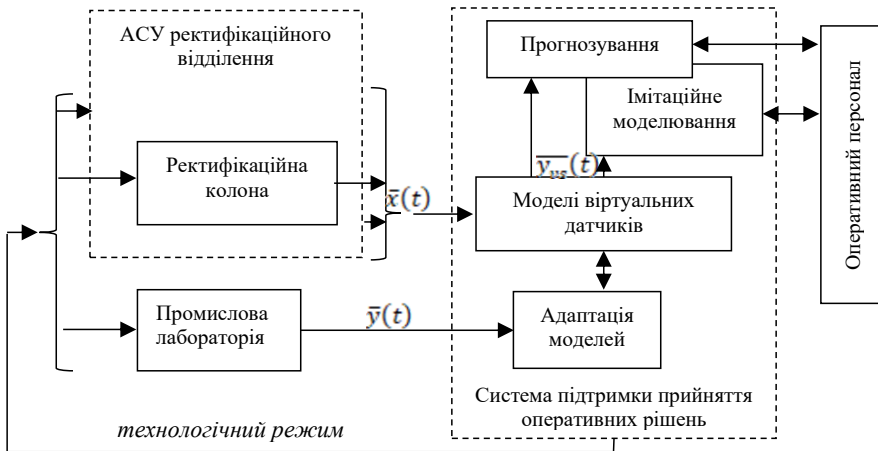


Рис. 5. Структурна схема системи управління з модельними віртуальними датчиками в підсистемі підтримки прийняття рішень

Висновки

Автоматизація промислового виробництва в контексті Індустрії 4.0 нерозривно пов'язана з впровадженням передових методів штучного інтелекту, інтелектуальних систем управління, роботизації, візуалізації даних та оптимізації процесів у вирішенні різних завдань, зокрема управління технологічними процесами, контроль якості продукції, моніторинг і діагностику обладнання, енергетичний менеджмент та інші аспекти виробництва. Одним із ключових інструментів є віртуальні сенсори, які дають змогу збирати й аналізувати дані про стан процесів та обладнання безпосередньо з віртуальних моделей, сприяючи швидкому виявленню аномалій та удосконаленню функціонування виробничих систем. Такі модельні датчики надають можливість оперативному персоналу (інженерам) використовувати симуляцію для прогнозування поведінки системи на різних рівнях виробництва, що допомагає їм у прийнятті управляючих рішень задля підвищення ефективності процесів шляхом оптимізації витрат та якості продукції.

Розглянуто переваги, недоліки та роль віртуальних аналізаторів при реалізації завдань Індустрії 4.0 і 5.0, та місце в структурі управління виробничим підприємством. Запропоновано систему управління в складі ректифікаційного відділення, що використовує модельні віртуальні датчики в підсистемі підтримки прийняття рішень, які базуються на штучних нейронних мережах (архітектура NARX). У дослідженні також ретельно аналізувалися різні архітектури NARX-штучних мереж, включаючи різноманітні комбінації шарів і нейронів з метою визначення оптимальної структури для досягнення максимальної точності й ефективності в прогнозуванні значень легкої та важкої фракції у ректифікаційній колоні. Такий підхід дав змогу обрати оптимальну конфігурацію мережі — NARX-мережа з 64 нейронами в одному прихованому шарі, яка забезпечує найкращі результати прогнозування — MSE на даних тестування становлять менше $10^{-3}\%$, що є ключовим фактором у забезпеченні надійності та точності роботи віртуального аналізатора.

На майбутнє автори планують розглянути систему управління окремими виробничими операціями, що включає фізичні та віртуальні сенсори; створити прототипи систем діагностики фізичних датчиків і прогнозування якісних показників технологічних процесів.

Література

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

Омельченко, О., & Луцька, Н. (2024). Хмарна архітектура передачі даних для впровадження моделей машинного навчання в спиртову промисловість. *Automation of Technological and Business Processes*, 15(4), 38—48. doi:10.15673/atbp.v15i4.2589.

Brunello, A., Urgolo, A., Pittino, F., Montvay, A., & Montanari, A. (2021). Virtual sensing and sensors selection for efficient temperature monitoring in indoor environments. *Sensors*, 21(8), 2728. doi:10.3390/s21082728.

Cai, Y., Starly, B., Cohen, P., & Lee, Y. S. (2017). Sensor data and information fusion to construct digital-twins virtual machine tools for cyber-physical manufacturing. *Procedia manufacturing*, 10, 1031—1042. doi:10.1016/j.promfg.2017.07.094.

Cristaldi, L., Ferrero, A., Macchi, M., Mehrafshan, A. & Arpaia, P. (2020). *Virtual Sensors: A Tool to Improve Reliability*. Proceedings of the 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (pp. 142—145). Rome, Italy. doi:10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138173.

Curreri, F., Graziani, S., & Xibilia, M. G. (2020). Input selection methods for data-driven Soft sensors design: Application to an industrial process. *Information Sciences*, 537, 1—17. doi:10.1016/j.ins.2020.05.028.

Curreri, F., Patanè, L., & Xibilia, M. G. (2021). RNN-and LSTM-based soft sensors transferability for an industrial process. *Sensors*, 21(3), 823. doi:10.3390/s21030823.

Jiang, Y., Yin, S., Dong, J., & Kaynak, O. (2020). A review on soft sensors for monitoring, control, and optimization of industrial processes. *IEEE Sensors Journal*, 21(11), 12868—12881. doi:10.1109/JSEN.2020.3033153.

Heras-Cervantes, M., Anzures-Marin, J., del Carmen Téllez-Anguiano, A., del Carmen García-Ramírez, M., & Correa-Gómez, J. (2016). *Modelling a heating-power actuator for a distillation column boiler*. 2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (pp. 1—6). IEEE. doi:10.1109/ROPEC.2016.7830593.

Kadlec, P., Gabrys, B., Strandt, S. (2009). Data-driven Soft Sensors in the process industry. *Computers & Chemical Engineering*, 33(4), 795—814. doi:10.1016/j.compchemeng.2008.12.012.

Li, M., Lu, Q., Bai, S., Zhang, M., Tian, H., & Qin, L. (2021). Digital twin-driven virtual sensor approach for safe construction operations of trailing suction hopper dredger. *Automation in Construction*, 132, 103961. doi:10.1016/j.autcon.2021.103961.

Liu, S., & Sun, W. (2023). Attention mechanism-aided data-and knowledge-driven soft sensors for predicting blast furnace gas generation. *Energy*, 262, 125498. doi:10.1016/j.energy.2022.125498.

Martin, D., Köhl, N. & Satzger, G. (2021). Virtual Sensors. *Business & Information Systems Engineering*, 63, 315—323 doi:10.1007/s12599-021-00689-w.

Rotondo, D., & Puig, V. (2021). Virtual Sensors and Actuators. *Diagnosis and Fault-tolerant Control Volume 2: From Fault Diagnosis to Fault-tolerant Control*, 193. doi:10.1002/9781119882350. ch6.

Stavropoulos, G.; Violos, J.; Tsanakas, S.; Leivadreas, A. (2023). Enabling Artificial Intelligent Virtual Sensors in an IoT Environment. *Sensors*, 23, 1328. doi:10.3390/s23031328.

Sun, Q., & Ge, Z. (2021). A survey on deep learning for data-driven soft sensors. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(9), 5853—5866. doi:10.1109/TII.2021.3053128.

Tiainen, T., Miettinen, J., Viitala, R., Hiekkänen, K., & Kuosmanen, P. (2019). Digital twin and virtual sensor for a rotor system. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 30. doi:10.2507/30th.daaam.proceedings.156.

Yuan, X., Qi, S., Wang, Y., & Xia, H. (2020). A dynamic CNN for nonlinear dynamic feature learning in soft sensor modeling of industrial process data. *Control Engineering Practice*, 104, 104614. doi:10.1016/j.conengprac.2020.104614.

FOOD LEGISLATION CHANGES OF UKRAINE FOR 2023

O. Shulga, S. Shulga

National University of Food Technologies

Key words:

*Food law of Ukraine
Food security
Laws
Orders*

Article history:

Received 04.03.2024
Received in revised form
19.03.2024
Accepted 01.04.2024

Corresponding author:

O. Shulga
E-mail:
shulgaos@ukr.net

Citation: Шульга О. С.,
Шульга С. І. (2024). Змі-
ни в харчовому законо-
давстві України за 2023
рік. *Наукові праці НУХТ*,
30(2), 31—43.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-2-5

ABSTRACT

Currently, Ukraine is on the way to joining the EU, and in order to successfully complete this process, Ukrainian legislation continues to be aligned with European requirements. The food industry is a strategic industry that ensures food security in every country. The law No. 3221-IX "On Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding Improvement of State Regulation of Food Safety and Development of Animal Husbandry" was adopted in June 2023, which provides for amendments to a number of currently valid laws of Ukraine. Adopted changes make it possible to specify the labeling of vegetarian food, and visual markings are introduced for agricultural products; the requirements for labeling chicken eggs changed, bringing them closer to EU requirements. A number of terms are introduced ("artisanal food product", "health benefit claim", "nutritional value claim", "traditional food from another country", "authorized person", "food flavorings", "food additive". Registries are being created for new foods, food additives, food flavorings, food enzymes and health claims. The requirements for unscheduled measures of state control over compliance with the legislation on food are defined: at the request of the business entity; for the appeal of an individual about a violation that caused him harm; on behalf of the Prime Minister of Ukraine with detected systemic violations; verification of implementation to eliminate violations; based on reports received from RASFF, health care facilities, accredited laboratories, official veterinarian, authorized veterinarian, slaughterhouse employee.

ЗМІНИ В ХАРЧОВОМУ ЗАКОНОДАВСТВІ УКРАЇНИ ЗА 2023 РІК

О. С. Шульга, С. І. Шульга

Національний університет харчових технологій

Україна на шляху приєднання до ЄС продовжує упорядковувати законодавство відповідно до європейських вимог, щоб успішно завершити цей процес. Харчова промисловість — це стратегічна галузь, яка забезпечує продовольчу безпеку кожної країни. В червні 2023 р. був прийнятий ЗУ «Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення державного регулювання продовольчої безпеки та розвитку тваринництва» № 3221-ІХ, який передбачає внесення змін до ряду нині чинних законів України. Прийняті зміни дають змогу конкретизувати маркування вегетаріанських харчових продуктів, а також запроваджуються візуальні позначки для сільськогосподарської продукції; змінюються вимоги до маркування курячих яєць, наближаючи їх до вимог ЄС. Вводиться ряд термінів («ремісничий харчовий продукт», «твердження про користь для здоров'я», «твердження про поживну цінність», «традиційний харчовий продукт з іншої країни», «уповноважена особа», «харчові ароматизатори», «харчова добавка», «харчовий ензим» тощо), що забезпечує однозначне трактування в сфері якості та безпечності харчових продуктів. Створюються реєстри для новітніх харчових продуктів, харчових добавок, харчових ароматизаторів, харчових ензимів і тверджень про користь для здоров'я. Визначено вимоги до позапланових заходів державного контролю за дотриманням законодавства про харчові продукти: за бажанням суб'єкта господарювання; за зверненням фізичної особи про порушення, що завдало йому шкоди; за дорученням Прем'єр-міністра України з виявленими системними порушеннями; перевірка виконання щодо усунення порушень; на підставі повідомлень, що надійшли від RASFF, закладів охорони здоров'я, акредитованих лабораторій, офіційного ветеринарного лікаря, уповноваженого ветеринара, працівника бійні.

Ключові слова: харчове законодавство України, продовольча безпека, закони, накази.

Постановка проблеми. У 2014 р. Україна обрала подальший напрямок свого розвитку, підписавши Угоду про асоціацію, що наклало на Україну певні зобов'язання, саме тому це потребує періодичного аналізу стану її виконання (Андруевич, 2023; Моніторинг аграрного законодавства, 2022).

Харчова промисловість є стратегічної галуззю кожної країни, тому питання продовольчої безпеки як глобальної проблеми навіть закріплено в Глобальних цілях сталого розвитку ООН до 2030 року. Продовольчу безпеку (Марина, 2023; Global Food Security, 2022) можна визначити за Глобальним індексом, що включає:

- доступність (доступність за ціною);
- наявність (фізична доступність);
- якість і безпека харчових продуктів;

- надійність галузей, які забезпечують виробництво харчових продуктів (Global Food Security Index, 2022).

Зрозуміло, що ступінь розвитку кожної країни напряму визначає його індекс. Стає зрозумілим, чому зараз стан продовольчої безпеки в Україні є негативним відповідно до Глобального індексу продовольчої безпеки: війна обумовила негативні економічні явища та ускладнює соціально-політичну ситуацію в державі. На жаль, негативним є і стан продовольчого кошика українців, який містить обмежений перелік харчових продуктів, зменшену кількість порцій харчових продуктів і постійно зростаючу вартість в умовах війни. Саме тому є необхідність у розробленні та впровадженні дієвих заходів, що дасть змогу суттєво покращити стан продовольчої безпеки в Україні. Заходи повинні бути спрямовані на законодавче регулювання та покращення фінансового доступу українців до якісних і безпечних харчових продуктів (Кваша, 2023).

На продовольчу безпеку також впливає врожайність сільськогосподарських культур, яка знижується через збільшення частоти екстремальних кліматичних явищ. Ці кліматичні аномалії розподілені на Землі нерівномірно і більший вплив мають на країни, що розвиваються, які мають менше можливостей для вирішення проблеми зміни клімату (Migón, 2023; Dietrich, 2023).

Зважаючи на низький Глобальний індекс, на допомогу приходить продовольчий банк — неприбуткова благодійна організація, яка збирає продовольчі товари (в т. ч. товари, термін придатності яких спливає) від виробників, торговельних організацій, закладів харчування, приватних осіб та інших постачальників і передає голодуючим (Прийма, 2023; Warshawsky, 2023).

Динамічний розвиток євроінтеграційних процесів України спрямовує наш зовнішньоекономічний напрямок у сферу сировинної галузі та превалювання низькотехнологічної продукції в товарній структурі зовнішньої торгівлі Україна—ЄС (Притула, & Кирик, 2023).

Отже, на виконання взятих зобов'язань щодо виконання умов Угоди про асоціацію в українському харчовому законодавстві відбуваються постійні зміни, що також повинно забезпечити продовольчу безпеку нашої країни, особливо в такий складний період, як війна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розвинутих країнах нині 20—30% населення залучені до агробізнесу. Географічне розташування України забезпечує розвинений, прибутковий агробізнес, оскільки наша країна має найбільшу в Європі площу сільськогосподарських угідь (41,5 млн га або до 70% загальної території). Саме в Україні зосереджено близько 25% чорнозему світу, який, як відомо, має високий рівень родючості. Аграрний сектор України становить понад 10% ВВП і є одним з найважливіших експортних секторів (Dyudyaeva, & Rutta, 2023). Агробізнес — це також і стала сировинна база для харчової промисловості, яка є складовою забезпечення продовольчої безпеки України.

Перешкодами для досягнення високого рівня продовольчої безпеки в Україні є незавершені законодавчі реформи, недостатнє фінансування, недоліки інфраструктури, корупція та недотримання стандартів, подолання наслідків війни, розроблення регіональних стратегій тощо (Melnyk, 2023).

Євроінтеграція, звісно, починається з найближчих сусідів, саме тому співпраця між Польщею та Україною у сфері виробництва харчових продуктів рослинного

походження відкриває значні можливості для підвищення продовольчої безпеки, диверсифікації сільського господарства, виробництва та сприяє економічному зростанню (Yakymchuk, & Pomianek, 2023).

Кожна країна ЄС має свою історію імплементації європейського харчового законодавства. Так, зокрема, німецька армія почала імплементацію Європейського харчового регламенту ще у 2003 р. і повністю впровадила у 2006 р., що дало змогу суттєво скороти кількість харчових отруєнь, обумовлених *Bacillus cereus*, *Salmonella spp.*, *Enterobacteriaceae* (Nau, 2023).

Водночас у цивільній сфері харчових продуктів Німеччини щорічно відбувається контроль заявленої енергетичної цінності, загального та насиченого вмісту жиру, цукру та солі в упакованих харчових продуктах. Окремо оцінюються продукти дитячого харчування. Виявлені зміни калорійності та поживних речовин аналізуються, проте методи моніторингу відрізняються в ЄС, що в подальшому ускладнює порівняння результатів (Gréa, 2023).

Нині виробництво харчових продуктів неможливе без пакувальних матеріалів, тому боротьба з кількістю відходів використаної упаковки продовжується, на що і спрямована нова законодавча пропозиція ЄС щодо відходів упаковки (Niégo, 2023).

Синтетичні барвники як складова деяких харчових продуктів можуть спричинити негативну дію на організм людини. Деякі країни постійно переглядають законодавство, щоб унеможливити або знизити допустиму добову норму харчових барвників. США та Індія дотримуються більш жорсткої політики, а країни ЄС часто змінюють або рекомендують тимчасову добову норму харчових барвників (Mota, 2023).

Отже, аналіз останніх публікацій показав, що законодавчі зміни відбуваються постійно не тільки в Україні, а й у ЄС, адже виробництво харчових продуктів змінюється залежно від соціально-політичної та безпекової ситуації в країні, а також стратегічного напрямку розвитку кожної держави.

Мета дослідження: аналіз змін харчового законодавства України за 2023 р., які є обов'язковими для застосування у сфері безпечності харчових продуктів.

Матеріали і методи. Аналіз сучасного стану харчового законодавства на основі загальнотеоретичних і галузевих досліджень у сфері продовольчої безпеки. Аналіз законодавчо-правової бази України, перспектив і проблем, зокрема понятійного й термінологічного характеру, що дасть змогу визначити слабкі сторони та можливості розвитку харчового законодавства України і практику його застосування.

Викладення основних результатів дослідження. Харчові продукти впродовж свого життєвого циклу постійно контактують з різними предметами та матеріалами. У 2022 р. в Україні був прийнятий відповідний закон, який набуде чинності у 2025 р. і відповідає Директиві Ради ЄС 78/142/ЄЕС, що наближає законодавство України у сфері санітарних та фітосанітарних заходів у ЄС (Міністерство юстиції України, 2023). Нині проводиться активна робота щодо забезпечення вимог прийнятого закону за рахунок формування відповідних реєстрів, прийняття наказів відповідних профільних органів влади та впровадження нормативних документів. Законодавча база ЄС забезпечує фундаментальні постулати безпеки та інертності всіх матеріалів, що контактують із харчовими продуктами.

Законодавство відіграє важливу роль у забезпеченні нормативних вказівок щодо систем забезпечення якості та перевірки їх впровадження як засобу дотримання нормативних вимог (Sharma, 2023).

У червні 2023 р. був прийнятий ЗУ «Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення державного регулювання продовольчої безпеки та розвитку тваринництва» № 3221-IX, який набув чинності 26.10.2023. Прийнятий ЗУ передбачає зміни таких документів: ЗУ «Про пестициди і агрохімікати»; ЗУ «Про захист рослин»; ЗУ «Про племінну справу у тваринництві»; ЗУ «Про державну підтримку сільського господарства України»; ЗУ «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності»; ЗУ «Про карантин рослин»; ЗУ «Про ветеринарну медицину»; ЗУ «Про загальну безпечність нехарчової продукції»; ЗУ «Про Перелік документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності»; ЗУ «Про адміністративні послуги»; ЗУ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів»; ЗУ «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин»; ЗУ «Про безпечність та гігієну кормів»; ЗУ «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції»; ЗУ «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів»; ЗУ «Про ветеринарну медицину»; ЗУ «Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення державного регулювання у сфері поводження з пестицидами і агрохімікатами».

Внесені зміни наведених законів передбачають:

1. Збільшення переліку селекційних та організаційно-господарських заходів у свинарстві, що дасть змогу отримувати якісну, безпечну продукцію за доступними цінами.

2. Конкретизацію вимог до інформації для споживачів з метою недопущення введення їх в оману.

3. Створення реєстрів об'єктів санітарних заходів, зокрема щодо новітніх харчових продуктів, харчових добавок, ароматизаторів та ензимів, твердження про користь для здоров'я.

4. Імплементацию міжнародних стандартів ISO/TS 19657:2017 «Продукти харчові та напої. Технічні критерії для визначення натуральності інгредієнтів» та ISO 23662:2021 «Definitions and technical criteria for foods and food ingredients suitable for vegetarians or vegans and for labelling and claims» («Визначення та технічні критерії для харчових продуктів та харчових інгредієнтів для вегетаріанців або веганів і для маркування та реклаमाцій»).

5. Спрощення процедури державної реєстрації для операторів ринку з виробництва ремісничих харчових продуктів і харчових продуктів тваринного походження малих потужностей з виробництва харчових продуктів.

6. Посилення державного контролю операторів ринку з виробництва та обігу харчових продуктів, а також їх відповідальності за недотримання відповідного законодавства.

7. Реформу механізму отримання експлуатаційних дозволів, проведення державної реєстрації, видачі, анулювання та поновлення міжнародних ветеринарних сертифікатів.

8. Визнання кормових добавок, якщо вони зареєстровані в ЄС, без додаткової державної реєстрації в Україні.

9. Полегшення процедури формування реєстраційного досьє, яке є необхідним для державної реєстрації кормових добавок.

10. Посилення вимог щодо застосування пестицидів, також розмежовано вимоги до огляду для цілей фітосанітарних досліджень і власне досліджень. Крім того, нововведення передбачають оформлення фітосанітарного сертифіката за межами України.

З метою зменшення забруднення харчових продуктів пестицидами нині запропоновано подовжити заборону на продаж гліфосату ще на 10 років. Автори (Blom, & Boonstra, 2023) вважають, що гліфосат спричиняє нейродегенеративні захворювання, наприклад, хвороби Паркінсона, Альцгеймера, рухових нейронів та розумові порушення в дітей. Крім того, щорічно проводиться контроль залишкових кількостей пестицидів у харчових продуктах (Carrasco, 2023; Dinca, 2023). Отже, внесені зміни до ЗУ «Про пестициди і агрохімікати» є своєчасними і забезпечують відповідність європейському законодавству.

Зміни ЗУ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» передбачають введення ряду термінів, зокрема, «верифікація», «вода питна», «державний реєстр об'єктів санітарних заходів», «дієтична добавка», «історія безпечного харчового споживання», «лот» тощо.

Введення терміна «лот» узгоджується із ЗУ «Про інформацію для споживачів про харчові продукти» (ст. 6), який застосовується в переліку обов'язкової інформації для фасованих харчових продуктів (Ємченко, 2023).

У 2015 р. був прийнятий ЗУ «Про стандартизацію», ст. 23 якого передбачає добровільне застосування національних стандартів, що вказує на необов'язковість показників якості як обов'язкових. Проте в минулому (2023) році також прийнятий термін *«окремі показники якості харчових продуктів»*. ЗУ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» визначає, що це показники та/або властивості харчових продуктів, які застосовуються для:

- ідентифікації харчових продуктів;
- визначення вимог до продуктів дитячого харчування, харчових продуктів для спеціальних медичних цілей, а також до харчових продуктів з метою контролю ваги;
- інформування споживачів про властивості харчових продуктів, зокрема за рахунок їх маркування.

Введені також терміни *«ремісничий харчовий продукт»*, *«твердження про користь для здоров'я»*, *«твердження про поживну цінність»*, *«традиційний харчовий продукт з іншої країни»*, *«уповноважена особа»*, *«харчові ароматизатори»*, *«харчова добавка»*, *«харчовий ензим»*.

Також зміни ЗУ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» передбачають розроблення, впровадження та застосування *постійно діючих процедур*, які засновані на принципах системи аналізу небезпечних факторів і контролю в критичних точках. Зміни передбачають застосування *спрощеного підходу*, якщо такий підхід забезпечує однаковий рівень захисту здоров'я споживачів, як і за умови запровадження НАССР. Спрощений підхід застосовується у таких випадках:

1) якщо проведено аналіз небезпечних факторів і підтверджено *відсутність критичних контрольних точок*. У такому разі достатнім буде дотримання загальних гігієнічних вимог поводження з харчовими продуктами, що передбачено статтями 40—51 ЗУ «Про основні принципи і вимоги до безпечності та якості харчових продуктів». Оператор ринку також повинен розробити процедури валідації і верифікації з метою перевірки результативності використаних заходів;

2) на потужностях з незначним ступенем ризику, який визначається Постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів Державною екологічною інспекцією» від 6 березня 2019 р. № 182 і на яких не здійснюється підготовка, оброблення чи перероблення харчових продуктів, тому *небезпечні фактори можуть контролюватися за допомогою впроваджених програм-передумов*;

3) якщо можливо використовувати типові плани системи аналізу небезпечних факторів та контролю у критичних точках (НАССР), які наявні у відповідних методичних настановах і передбачають інформацію про небезпечні фактори, програми-передумови, процедури в критичних контрольних точках та процедури ведення записів. *Використання типового плану системи аналізу небезпечних факторів і контролю в критичних точках (НАССР) можливе лише в разі, якщо потужність оператора ринку відповідає опису, що міститься у відповідній методичній постанові*;

4) за умови використання *процедур візуального моніторингу* ведення записів лише у випадках, якщо виявлена невідповідність установленим вимогам. Зазначені записи повинні містити й опис корекцій/коригувальних дій.

Зміни, представлені в ст. 31 ЗУ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», передбачають загальні засади щодо державної реєстрації окремих об'єктів санітарних заходів, зокрема під таку реєстрацію підпадають:

1) новітні харчові продукти;

2) харчові добавки;

3) харчові ароматизатори, крім групи харчових ароматизаторів, яка визначена МОЗ України, тобто центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я, та сировина для виробництва харчових ароматизаторів;

4) харчові ензими (ферменти);

5) твердження про користь для здоров'я.

За відповідними об'єктами будуть сформовані державні реєстри:

1) новітніх харчових продуктів;

2) харчових добавок, харчових ароматизаторів і харчових ензимів (ферментів);

3) тверджень про користь для здоров'я.

Зміни ЗУ «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин» передбачають запровадження «Системи швидкого повідом-

лення про загрози, пов'язані з харчовими продуктами та кормами» як одним з причин проведення позапланової державної перевірки. Крім того, на вимогу оператора ринку його повинні письмово проінформувати про порядок оскарження прийнятих (виданих) йому рішень, приписів. Визначено, що одна й та сама особа не повинна здійснювати аудит на одній і тій самій потужності більше двох разів поспіль.

Зміни ЗУ «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» передбачають введення терміна «*натуральна ароматична речовина*», а також конкретизацію вимог до маркування харчових продуктів, зокрема, інформації, що надається в добровільному порядку: «*вегетаріанський*» («*ово-вегетаріанський*», «*лакто-вегетаріанський*», «*веганський*»).

У харчовій і кормовій промисловості генетично модифіковані штами мікробів використовуються для виробництва ферментів, ароматизаторів та добавок (Deckers та ін., 2020). Нині тривають дебати, чи вважати генетично модифіковані мікроорганізми (ГММ) генетично модифікованими організмами (ГМО). Питання є актуальним, оскільки воно вплине на інновації стійких ланцюгів поставок у біоekonomіці. Поручено питання про те, чи може політика регулювання ГММ бути виправдана з погляду стійкості і, зокрема, чи не ставлять вони під загрозу «Європейський зелений курс» (Wesseler, 2023).

В аспекті гармонізації українського законодавства в серпні 2023 р. прийнятий ЗУ «Про державне регулювання генетично-інженерної діяльності та державний контроль за розміщенням на ринку генетично модифікованих організмів і продукції» № 3339-IX, який набуде чинності 16.09.2026.

І досі в Україні на законодавчому рівні не вирішено питання щодо функціональних харчових продуктів. Функціональні харчові продукти відіграють важливу роль в економічній діяльності, включаючи підвищення цінності побічних продуктів харчової промисловості, які можуть стати відходами. У (Tsoupras, 2023) передбачається, що індустрія функціональних харчових продуктів продовжить своє зростання впродовж найближчих десятиліть, саме тому важливо аналізувати їх зростання, еволюцію, законодавство та перспективи на майбутнє.

У (Granato та ін., 2023) пропонується інтегративний підхід до науково-технічного прогресу політиків, споживачів і суспільства до розроблення стійких функціональних харчових продуктів, що містять біоактивні речовини, які сприяють боротьбі з неінфекційними захворюваннями. Дослідники критично аналізують, яким чином такі ініціативи узгоджуються з новими політичними реаліями ЄС та ООН у рамках спільної мети досягнення глобальної продовольчої безпеки та сталого зростання.

З метою забезпечення продовольчої безпеки важливо розуміти різницю між поняттями «небезпека» і «ризик». Використання цих термінів як синонімів або їх взаємозаміна є постійною проблемою у сфері безпеки харчових продуктів. Швидка перевірка їжі в ЄС виявила ряд невідповідностей, що потребує подальшого розслідування і встановлення, чи можуть бути нормативні документи джерелом таких невідповідностей через підміну понять «небезпека» та «ризик». Дослідники (Сіуса та ін., 2023) розробили програмний засіб для підтримки виявлення неповідомлених перекладів «небезпеки» та «ризик» в певних харчових нормах ЄС.

Впровадження методологій нового підходу (Cattaneo та ін., 2023) щодо оцінки безпеки харчових продуктів: стратегічні цілі та дії, вжиті Європейським органом з безпеки харчових продуктів. Методології нового підходу включають методи *in silico* та *in vitro*, які застосовуються як альтернатива випробуванням на тваринах. Незважаючи на те, що методологію нового підходу вже повністю впроваджено як дослідницькі інструменти, їх використання в оцінюванні регуляторних ризиків на тепер обмежене. Для сприяння нормативному впровадженню методології нового підходу необхідні зміни парадигми в підходах до оцінювання ризиків і належний діалог між оцінювачами ризиків та менеджерами з ризиків.

Крім Законів України, у 2023 р. було також прийнято ряд наказів Мінагрополітики у сфері санітарних і фітосанітарних заходів. Зокрема, прийнятий наказ «Про затвердження Вимог до курячих яєць» від 07 березня 2023 р. № 360, який набуває чинності з 1 січня 2028 року. Затверджені зміни передбачають, що:

1. Курячі яйця сортуватимуть за їх якістю. Згідно з оновленою класифікацією передбачено класи «А» та «В». Так, до класу «А» будуть віднесені яйця з чистою та неушкодженою шкаралупою; білок повинен бути чистим, прозорим, не мати сторонніх речовин та запаху; відсутність розвитку зародка. До класу «В» будуть віднесені яйця, які не відповідають показникам якості класу «А». Нині в Україні яйця поділяються на групи (дієтичні, столові, охолоджені) з літерно-числовим позначенням.

2. Сортування відбуватиметься також за вагою: клас «А» сортуватимуть на категорії: «XL» (маса одного яйця 73 г та більше), «L» (63—73 г), «M» (53—63 г), «S» (менше 53 г). Сортування за вагою клас «В» поділятися не будуть. Нині в Україні згідно з ДСТУ 5028:2008 чинна класифікація за масою категорії: відбірні, вища, перша, друга, дрібні.

3. Впровадження додаткових вимог щодо штампування, маркування, пакування та ведення записів операторами ринку.

У 2023 р. також прийняті накази Мінагрополітики:

- «Про затвердження Вимог до фруктових соків та деяких подібних харчових продуктів» від 31 липня 2023 року № 1450;

- «Про затвердження форм актів, складених за результатами проведення планових (позапланових) заходів державного контролю (інспектування) стосовно дотримання операторами ринку вимог законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин, а також інших форм розпорядчих документів» від 08 серпня 2023 року № 1503;

- «Про затвердження національних символів для сільськогосподарської продукції та харчових продуктів із зареєстрованими назвами місця походження товару, географічними зазначеннями, традиційними гарантованими особливостями, а також Правил та Вимог до них» від 20 вересня 2023 року.

Останній наказ передбачає появу символів на пакуванні сільськогосподарської продукції, які наведено на рис. 1.

Символи будуть наноситися власне на упаковку, етикетку (стікер), кольєретку харчових продуктів. За відсутності упаковки національні символи будуть зазначатися в документі або повідомленні, що супроводжують харчові продукти.



із зареєстрованою назвою
місця походження товару



із зареєстрованим
географічним зазначенням



із зареєстрованою
традиційною гарантованою
особливістю

Рис. 1. Національні символи для сільськогосподарської продукції та харчових продуктів

У 2023 р. прийняті також накази Мінагрополітики:

- «Про затвердження Вимог до письмової декларації про відповідність матеріалів і предметів, призначених для контакту з харчовими продуктами, та переліку документів, які підтверджують відомості, зазначені в декларації» від 02 жовтня 2023 року № 1743;

- «Про затвердження Гігієнічних вимог до потужностей, на яких здійснюється виробництво та/або обіг продуктів бджільництва» від 15 листопада 2023 року № 1968;

- «Про внесення змін до Переліку підстав для здійснення позапланових заходів державного контролю за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин на період воєнного стану» від 10.02.2023 № 159 і набрав чинності 20 січня 2023 року. Відповідно до зазначеного наказу підставами для позапланових заходів державного контролю є:

- власна ініціатива оператора ринку, тобто суб'єкт господарювання подає письмову заяву до відповідного органу державного нагляду/контролю про здійснення заходу державного нагляду/контролю за їхнім бажанням;

- звернення споживача до відповідного органу державного нагляду/контролю про здійснення заходу державного нагляду/контролю, якщо споживання харчового продукту спричинило шкоду їх правам, законним інтересам, життю чи здоров'ю, навколишньому природному середовищу чи безпеці держави;

- доручення Прем'єр-міністра України щодо перевірки, які обумовлені системними порушеннями та/або подією, що негативно вплинуло на права, законні інтереси, життя та здоров'я людини, довкілля та забезпечення безпеки держави;

- перевірка виконання результатів усунення виявлених порушень вимог законодавства під час проведення заходу органом державного нагляду/контролю;

- на підставі повідомлень, що надійшли від: RASFF; закладів охорони здоров'я; акредитованих лабораторій; офіційного ветеринарного лікаря, уповноваженого ветеринара, працівника бійні.

Інформація є домінуючим засобом втручання, спрямованим на споживачів з боку національних і міжнародних органів влади, а також неурядових організацій та наукового товариства (Dinca та ін., 2023; Річний звіт RASFF, 2020; Артеменко, 2023).

Також у 2023 р. прийнято такі накази Мінагрополітики:

- «Про затвердження Вимог до складання та подання заяви про початок застосування особливого показника якості» від 24 листопада 2023 року № 2036;
- «Про затвердження Порядку оформлення, подання та розгляду заяви про початок використання схеми якості» від 12 грудня 2023 року № 2150.

Терміни «схема якості» та «особливий показник якості» закріплені в ЗУ «Про особливості правової охорони географічних зазначень для сільськогосподарської продукції та харчових продуктів, захист прав та застосування схем якості, включаючи традиційні гарантовані особливості для сільськогосподарської продукції та харчових продуктів» від 06.09.2022 № 2572-IX.

Висновки

Отже, харчове законодавство України продовжує зазнавати змін, що забезпечить виконання вимог Угоди про асоціацію між Україною та ЄС. Крім того, частина змін обумовлена теперішнім воєнним станом у державі. Прийняті зміни дають змогу конкретизувати маркування вегетаріанських харчових продуктів, а також візуальні позначки для сільськогосподарської продукції. Змінюються вимоги до маркування курячих яєць. Вводиться ряд термінів, що забезпечує однозначне трактування в сфері якості та безпечності харчових продуктів. Створюються реєстри для новітніх харчових продуктів, харчових добавок, харчових ароматизаторів, харчових ензимів і тверджень про користь для здоров'я. Визначено вимоги до позапланових заходів державного контролю за дотриманням законодавства про харчові продукти.

Література

Артеменко, Л. Б. (2023). Європейські системи попередження споживачів про небезпечні харчові продукти на ринку України. *Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Формування механізму зміцнення конкурентних позицій національних економічних систем у глобальному, регіональному та локальному вимірах»*, Тернопіль, 2023, 102—105. Взято з https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/40889/2/MNPK_2023_Artemenko_L-European_systems_to_warn_102-105.pdf.

Безпека та якість харчових продуктів Міністерство юстиції України. Взято з https://minjust.gov.ua/m/str_45835.

Європейська Комісія. Річний звіт RASFF 2020. *Офіс публікацій*, 2021. Взято з https://ec.europa.eu/food/safety/rasff-food-and-feed-safety-alerts_en.

Ємченко, І. (2023). Спрощена система маркування харчових продуктів для споживачів. *Товарознавчий вісник*, 1(16), 105—115. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2023-17-9>.

Кваша, С., Вакуленко, В. (2023). Теоретичні основи продовольчої безпеки в умовах сьогодення. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 4 (87), 419—428. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.55>.

Моніторинг аграрного законодавства. Випуск 10/2022. Німецько-український агрополітичний діалог. Взято з https://apd-ukraine.de/images/2022/Legislation_Review/10_2022/APD_LR_10-22_September_2022_ua.pdf.

Марина, А. С., Янковська, Я. Р. (2023). Дослідження стану глобальної продовольчої безпеки. *Економічний простір*, 184, 26—30.

Прийма, Ю. (2023). Впровадження європейських практик для розвитку Асоціації продовольчих банків «ТАРІЛКА» в Україні. *Галицький економічний вісник*, 6(61), С. 46—55. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu.

Припула, Х., Кирик, І. (2023). Оцінення структури та динаміки зовнішньої торгівлі України з країнами ЄС. *Економіка та суспільство*, (54), 54—60. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-60>.

Україна та Угода про асоціацію: моніторинг виконання, 2014—2022: [звіт] / А. Андрусевич, А. Василенко, Б. Веселовський, В. Мельник, В. Черкашин, Г. Трипольська, Г. Усатенко, Г. Рябцев [та ін.]; ГО «Український центр європейської політики», Представництво Фонду Конрада Аденауера в Україні. Київ: [б. в.], 2023. 154 с.

Bloem, B. R., & Boonstra, T. A. (2023). The inadequacy of current pesticide regulations for protecting brain health: the case of glyphosate and Parkinson's disease. *The Lancet Planetary Health*, 7(12), e948—e949. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00255-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00255-3).

Cattaneo, I. et al. (2023). Implementing New Approach Methodologies (NAMs) in food safety assessments: Strategic objectives and actions taken by the European Food Safety Authority. *Trends in Food Science & Technology*, 133, 277—290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.006>.

Cioca, A. A., Tušar, L., & Langerholc, T. (2023). Food Risk Analysis: Towards a Better Understanding of Hazard and "Risk" in EU Food Legislation. *Foods*, 2023, 12(15), 2857. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12152857>.

Deckers et al. (2020). Genetically modified micro-organisms for industrial food enzyme production: an overview. *Foods*, 9(3), 326. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9030326>.

Dinca, V. et al. (2023). A mixture of 13 pesticides, contaminants, and food additives below individual NOAELs produces histopathological and organ weight changes in rats. *Archives of Toxicology*, 97(5), 1285—1298. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-023-03455-x>.

Dietrich, J. et al. (2023). Impact of climate change on foodborne infections and intoxications. *Journal of Health Monitoring*, 8(3), 78. DOI: <https://doi.org/10.25646/11403>.

Solveig Langsrud et al. (2023). Solveig Langsrud A trans disciplinary and multi actor approach to develop high impact food safety messages to consumers: Time for a revision of the WHO — Five keys to safer food? *Trends in Food Science & Technology*, 133, 87—98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.01.018>.

Dyudyayeva, O., & Rutta, O. (2023). The modern challenges for the food safety of Ukraine. *The Norwegian Journal of Development of the International Science*, 122, 17—24. Взято з <http://hdl.handle.net/123456789/8813>.

Carrasco Cabrera, L. et al. (2023). European Food Safety Authority (EFSA), The 2021 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, 21(4), e07939. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7939>.

Global Food Security Q2. (2022). Взято з <https://www.dka.global/global-food-security-q2-2022>.

Global Food Security Index 2022 The GFSI website navigation guide. Взято з https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist_Impact_GFSI_2022_Website_Navigation_Guide_Sep_2022.pdf.

Gréa, C. et al. (2023). Design and methods of the German monitoring of packaged food in the European context. *Journal of Food Composition and Analysis*, 121, 105405. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105405>.

Granato, D., Zabetakis, I., & Koidis, A. (2023). Sustainability, nutrition, and scientific advances of functional foods under the new EU and global legislation initiatives. *Journal of Functional Foods*, 109, 105793. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105793>.

Melnyk, T., Tunitska, Y., & Banas, D. (2023). Food security of Ukraine: National and global level. *Economics and Business Review*, 9(3), 181—205. DOI: <https://doi.org/10.18559/eb.2023.3.927>.

Mirón, I. J., Linares, C., & Díaz, J. (2023). The influence of climate change on food production and food safety. *Environmental Research*, 216 (3), 114674. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114674>.

Mota, I. G. C. et al. (2023). Artificial dyes: Health risks and the need for revision of international regulations. *Food Reviews International*, 39(3), 1578—1593. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1934694>.

Nau, A. et al. (2023). Impact of the Revision of European Food Hygiene Legislation and the Introduction of Convenience-based Food on Food Safety in the German Military. *Journal of Food Protection*, 86(5), 100073. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100073>.

Niero, M. (2023). Implementation of the European Union's packaging and packaging waste regulation: A decision support framework combining quantitative environmental sustainability assessment methods and socio-technical approaches. *Cleaner Waste Systems*, 6, 100112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100112>.

Sharma, S. et al. (2023). Food Contact Surfaces: Challenges, Legislation and Solutions. *Food Reviews International*, 39(2), 1086—1109. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1929299>.

Wesseler, J. et al. (2023). EU regulation of genetically modified microorganisms in light of new policy developments: Possible implications for EU bioeconomy investments. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 45(2), 839—859. DOI: <https://doi.org/10.1002/aep.13259>.

Tsoupras, A., Zabetakis, I., & Lordan, R. (2023). Functional foods: Growth, evolution, legislation, and future perspectives. In *Functional Foods and Their Implications for Health Promotion*, 367—377. Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823811-0.00003-1>.

Warshawsky, D. N. (2023). Food insecurity and the covid pandemic: uneven impacts for food bank systems in Europe. *Agriculture and Human Values*, 40(2), 725—743. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10460-022-10387-2>.

Yakymchuk, A., & Pomianek, T. (2023). Ensuring food security for the population through plant-based nutrition: collaboration between Poland and Ukraine. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization & Management*, 187, 777—797. DOI: <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2023.187.41>.

BACTERIA ASSOCIATED WITH PLANTS AS PRODUCERS OF SURFACTANTS**T. Pirog^{1,2}, D. Piatetska¹**¹*National University of Food Technologies*²*Institute of Microbiology and Virology of NASU*

Key words:

Endophytes
Rhizospheric bacteria
Lipopeptides
Rhamnolipids
Antimicrobial activity
Phytopathogens

Article history:

Received 12.03.2024

Received in revised form
29.03.2024

Accepted 16.04.2024

Corresponding author:

T. Pirog

E-mail:

tapirog@nuft.edu.ua

Citation: Пирог Т. П.,
П'ятецька Д. В. (2024).
Асоційовані з рослинами
бактерії як продуценти по-
верхнево-активних речо-
вин. *Наукові праці НУХТ*,
30(2), 44—60.

DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-2-6

ABSTRACT

In the last decade, reports began to appear about the using surfactants of microbial origin in agriculture to control the number of phytopathogenic microorganisms. Since surfactants are capable of inhibiting phytopathogenic bacteria and fungi, many plant-associated bacteria have the ability to synthesize these metabolites. Thus, rhizospheric and endophytic bacteria are able to synthesize surface-active rhamnolipids and lipopeptides, and the level of synthesis of rhamnolipids by rhizospheric bacteria is higher than that of lipopeptides (1.4—21.8 and 0.5—3.8 g/l, respectively). The surfactant-synthesizing ability of some plant-associated bacteria is comparable to that of traditional lipopeptide producers known from the literature. The *Bacillus velezensis* XT1 CECT 8661 strain isolated from rice synthesizes 10 g/l, and the *Bacillus altitudinis* MS16 isolated from the rhizosphere produces 3.8 g/l of lipopeptides. Rhizospheric and endophytic bacteria synthesize surfactants, which are characterized by moderate antimicrobial activity against phytopathogenic bacteria and fungi: the minimum inhibitory concentrations are from 30 to 20000 µg/ml, the growth retardation zone is 5—15 mm. The antifungal activity of surfactants synthesized by plant-associated bacteria is due to the presence in the composition complex of the fengycin — lipopeptide with a longer acyl chain (C16—C18), which is more hydrophobic and can more easily penetrate the cell walls of fungi and yeast. In general, plant-associated bacteria are not promising potential industrial producers of rhamnolipids and lipopeptides due to the relatively low level of surfactant synthesis. At the same time, the existing arsenal of physiological and genetic approaches is an effective tool for increasing the surfactant-synthesizing capacity of rhizobacteria and their antimicrobial activity.

АСОЦІЙОВАНІ З РОСЛИНАМИ БАКТЕРІЇ ЯК ПРОДУЦЕНТИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Т. П. Пирог^{1,2}, Д. В. П'ятецька¹

¹Національний університет харчових технологій

²Інститут мікробіології і вірусології НАНУ

В останнє десятиліття почали з'являтися повідомлення про застосування поверхнево-активних речовин (ПАР) мікробного походження в сільському господарстві для контролю чисельності фітопатогенних мікроорганізмів. Оскільки ПАР здатні пригнічувати фітопатогенні бактерії та гриби, то не дивно, що здатність до синтезу цих метаболітів притаманна багатьом асоційованим з рослинами бактеріям. Так, ризосферні та ендоефітні бактерії здатні синтезувати поверхнево-активні рамноліпіди та ліпопептиди, причому рівень синтезу рамноліпідів ризосферними бактеріями є вищим, ніж ліпопептидів (1,4—21,8 і 0,5—3,8 г/л відповідно). ПАР-синтезувальна здатність деяких асоційованих з рослинами бактерій є порівняною з такою для відомих з літератури традиційних продуцентів ліпопептидів. Ізольований з рису штам *Bacillus velezensis* XT1 СЕСТ 8661 синтезує 10 г/л, виділений з ризосфери *Bacillus altitudinis* MS16 — 3,8 г/л ліпопептидів. Ризосферні та ендоефітні бактерії синтезують ПАР, яким притаманна помірна антимікробна щодо фітопатогенних бактерій і грибів активність: мінімальні інгібуючі концентрації становлять від 30 до 20000 мкг/мл, зони затримки росту — 5—15 мм. Антифунгальна активність ПАР, синтезованих асоційованими з рослинами бактеріями, зумовлена наявністю у складі комплексу фенгіцину — ліпопептиду з довшим ацильним ланцюгом (C16—C18), який є гідрофобнішим і може легше проникати через клітинні стінки грибів і дріжджів. Загалом на теперішній час асоційовані з рослинами бактерії не є перспективними потенційними промисловими продуцентами рамноліпідів і ліпопептидів через відносно невисокий рівень синтезу ПАР. Водночас наявний арсенал фізіологічних, а також генетичних підходів є ефективним інструментарієм для підвищення ПАР-синтезувальної здатності ризобактерій та їх антимікробної активності.

Ключові слова: ендоефіти, ризосферні бактерії, ліпопептиди, рамноліпіди, антимікробна активність, фітопатогени.

Постановка проблеми. Попит на синтетичні поверхнево-активні речовини (ПАР) постійно зростає завдяки їх широкому практичному використанню в різних галузях промисловості. Прогнозується, що ринок таких ПАР щорічно збільшуватиметься на 4,9% і у 2028 р. досягне 57,81 млрд дол. США (Nagtode et al., 2023). Водночас темпи розвитку біотехнології на сучасному етапі та підвищена увага до збереження довкілля зумовили великий інтерес дослідників до біодеградабельних і нетоксичних мікробних ПАР, які можуть стати альтернативою хімічним аналогам (Dias, & Nitschke, 2023). У 2020 р. ринок мікробних поверхнево-активних речовин оцінювався приблизно в 2,54 млрд дол. США, а до 2027 р. буде щороку зростати на 5,7% (до 3,56 млрд дол. США) (Nagtode et al., 2023).

В останнє десятиліття стали з'являтися повідомлення про застосування ПАР мікробного походження в сільському господарстві (Harjot, Bhairav, & Sukhvir, 2015; Mnif, & Ghribi, 2016; Karamchandani et al., 2022). В огляді (Пирог, Палійчук, Іутинська, & Шевчук, 2018) ми зазначали, що роль мікробних ПАР як препаратів для захисту рослин зумовлена їх використанням для біоремедіації сільськогосподарських ґрунтів, виробництва пестицидів, контролю чисельності фітопатогенів, участю в процесах рослинно-мікробної взаємодії і стимуляції росту рослин. Оскільки поверхнево-активні речовини мікробного походження здатні пригнічувати фітопатогенні бактерії та гриби, то не дивно, що здатність до синтезу цих метаболітів притаманна багатьом асоційованим з рослинами бактеріям, які називаються ризобактеріями.

У раніше опублікованому огляді (Pirog et al., 2018) ми наводили класифікацію ризобактерій залежно від їх близькості до коренів: (1) ризосферні — існують у ґрунті біля коріння; (2) ризопланові — колонізують поверхню кореня; (3) ендодітні — мешкають у кореневій тканині; (4) симбіотичні азотфіксатори, які охоплюють дві групи: ризобії, або бульбочкові (перебувають у симбіозі з бобовими рослинами) та представники роду *Frankia* (симбіоз з вільхою). Ризобактерії здатні стимулювати ріст рослин або безпосередньо (в результаті фіксації азоту, солюбілізації фосфатів, хелатування іонів заліза та синтезу фітогормонів), або опосередковано (пригнічення фітопатогенів, індукція стійкості до фітопатогенів і стресових умов). В зарубіжній літературі такі бактерії називаються PGPR-бактеріями (plant growth promoting rhizobacteria) (Gopalakrishnan et al., 2015; Vejan et al., 2016).

Мета статті: узагальнення літературних даних щодо синтезу поверхнево-активних гліко- та ліпопептидів ризосферними й ендодітними бактеріями.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали наукові публікації зарубіжних учених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються утворення поверхнево-активних речовин асоційованими з рослинами бактеріями.

Викладення основних результатів дослідження. Ризосферні бактерії як продуценти поверхнево-активних речовин. Ризосферні бактерії здатні синтезувати поверхнево-активні рамноліпіди (Deerika, Ramu Sridhar, & Bramhachari, 2015; Sood et al., 2019; Chopra et al., 2020; Isha et al., 2020) та ліпопептиди (Chen et al., 2016; Cao et al., 2018; Madhurankhi, & Suresh, 2019; Abdallah et al., 2020; Singh, & Sharma, 2020). У наших попередніх оглядах (Пирог, Палійчук, Іутинська, & Шевчук, 2018; Пирог, Ключка, Шевчук, & Мучник, 2019) ми наводили хімічний склад цих поверхнево-активних речовин.

Так, рамноліпіди — це гліколіпіди, що містять гідрофільну групу (одна чи дві молекули рамнози), зв'язану глікозидним зв'язком з гідрофобною частиною (одна або дві β -гідрокси жирні кислоти). Рамноліпіди, що містять одну і дві молекули рамнози називають моно- та дирамноліпідами відповідно. Рамноліпіди, як правило, утворюються бактеріями роду *Pseudomonas*.

Циклічні ліпопептиди складаються з олігопептиду з пептидно зв'язаною жирною кислотою. Лінійна або розгалужена ліпідна частина ліпопептидів може відрізнятися за довжиною ацильного ланцюга (як правило, C6—C18). Пептидна частина (містить до 25 амінокислот) утворює лактон або лактам з гідроксилом, фе-

нолом або амінофункціональною групою, наявною або в бічних ланцюгах пептиду або частини ліпідного фрагмента, утворюючи таким чином макроцикли різного розміру (зазвичай 4—16 амінокислот). Оскільки циклічні ліпопептиди синтезуються нерибосомальними пептидними синтетазами, в пептидній частині можуть бути присутні як непротеїногенні (наприклад, D-конфігуровані або β-амінокислоти), так і модифіковані амінокислоти (наприклад, 4-хлор-треонін). Найбільш вивченими продуцентами циклічних ліпопептидів є бактерії роду *Bacillus*. Ці ліпопептиди поділяють на три родини: сурфактини, ітурини та феніцини, які відрізняються кількістю та послідовністю амінокислот у своєму складі й довжиною ацильного ланцюга.

Узагальнені дані щодо синтезу поверхнево-активних рамноліпідів і ліпопептидів ризосферними бактеріями наведено у табл. 1 і 2. Ці дані свідчать про те, що рівень синтезу рамноліпідів ризосферними бактеріями є вищим, ніж ліпопептидів. Зазначимо, що така сама закономірність характерна і для традиційних продуцентів цих поверхнево-активних речовин (Gong et al., 2021; Soberón-Chávez, González-Valdez, Soto-Aceve, & Cocotl-Yañez, 2021; de Oliveira Schmidt et al., 2022). Загалом, ПАР-синтезувальна здатність ризосферних бактерій є суттєво нижчою, ніж відомих з літератури традиційних продуцентів рамноліпідів і ліпопептидів (Gong et al., 2021; Soberón-Chávez, González-Valdez, Soto-Aceve, & Cocotl-Yañez, 2021; de Oliveira Schmidt et al., 2022).

Таблиця 1. Синтез поверхнево-активних речовин ризосферними бактеріями

ПАР	Штам-продуцент	Рослина, з ризосфери якої виділено штам	Хімічний склад ПАР	Ростовий субстрат, концентрація (г/л)	Концентрація ПАР, г/л	Література
Рамноліпіди	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> CR1	Перець чилі	Монорамноліпід	Гліцерин, 30 тригтон, 10	21,77	Sood et al., 2019
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> KVD-HM52	Мангрові дерева	Монорамноліпід, дирамноліпід	М'яса, 2 %	5,26	Deepika, Ramu Sridhar, & Bramhachari, 2015
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> C1501	Пшениця	Дирамноліпід	Гліцерин, 3% (об'ємна частка)	1,39	Oluwaseun et al., 2017
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> RTE4	Чай Rosekandy	Дирамноліпід	Глюкоза, 20	Дані не наведено	Chopra et al., 2020
	<i>Pseudomonas putida</i> BSP9	Гірчиця	Монорамноліпід, дирамноліпід	Гліцерин, 1% (об'ємна частка)	2,5	Isha et al., 2020

Продовження таблиці 1

Ліпопептиди	<i>Bacillus velezensis</i> 32a	Томат	Сурфактин, фенгіцин	2,3 г/л вуглеводів (глюкоза, фруктоза, мальтоза); 4,4 г/л органічних кислот (цитрат, сукцинат, малат, фумарат)	0,621	Abdallah et al., 2020
	<i>Bacillus velezensis</i> Y6	Томат	Ігурин, фенгіцин, сурфактин	Триптон, 10, дріжджовий екстракт, 5	0,5	Cao et al., 2018
	<i>Bacillus tequilensis</i> SDS21	Квітова рослина родини айстрових	Сурфактин	Сахароза, 30	1,879	Singh, & Sharma, 2020
	<i>Bacillus altitudinis</i> MS16	Різноманітні культури Ірану	Сурфактин, ігурин	Глюкоза, 20	3,8	Madhurankhi, & Suresh, 2019
	<i>Bacillus</i> sp. FJAT-14262	Квітуха трав'яниста рослина <i>Anoectochilus roxburghii</i>	Сурфактин	Глюкоза, 5	0,576	Chen et al., 2017
	<i>Bacillus subtilis</i> JW-1	Перець	Ізоформи сурфактину	Крохмаль, 10 Глюкоза, 20	Дані не наведено	Kwon, & Kim, 2014
	<i>Bacillus amylo-liquefaciens</i> JK6	Томат	Сурфактин	Триптон, 10, дріжджовий екстракт, 5	0,064	Xiong et al., 2015

Крім того, для синтезу ПАР ризосферними бактеріями використовуються в основному дорогі вуглеводні субстрати (табл. 1), на відміну від традиційних продуцентів, які характеризуються високим рівнем синтезу рамноліпідів і ліпопептидів на промислових відходах. Так, концентрація рамноліпідів, синтезована бактеріями роду *Pseudomonas* на оліємісних субстратах, становить у середньому 35—36 г/л (Soberón-Chávez, González-Valdez, Soto-Aceve, & Cocotl-Yañez, 2021), при вирощуванні на стічних водах переробки маніюку бактерії роду *Bacillus* утворюють 2—3,5 г/л ліпопептидів (de Oliveira Schmidt et al., 2022). Зазначимо, що й під час культивування продуцентів рамноліпідів на ферментаційному обладнанні рівень синтезу цих ПАР досягає 30—40 г/л (Gong et al., 2021).

Утворення поверхнево-активних речовин ендofітними бактеріями. Дані щодо здатності ендofітних бактерій синтезувати поверхнево-активні гліко- та ліпопептиди наведено в табл. 2. Зазначимо, що на відміну від досліджень синтезу ПАР ризосферними бактеріями, в яких автори визначали концентрацію поверхнево-активних речовин (табл. 1), у більшості праць щодо утворення ПАР ендofітами, таких даних немає (табл. 2). Дослідники встановлювали здатність до син-

тезу ПАР за зниженням поверхневого натягу культуральної рідини чи дослідженням емульгувальної здатності супернатанту, а також визначаючи хімічний склад синтезованих цільових продуктів. У літературі вдалося знайти всього кілька досліджень, в яких наведено концентрацію ПАР, синтезованих ендоефітними бактеріями (Toral., Rodríguez, Béjar, & Sampedro, 2018; Soussi et al., 2019; Marchut-Mikołajczyk et al., 2021). З цих праць заслуговують на увагу дослідження про здатність виділеного з чистотіла штаму *B. pumilus* 2A утворювати 6,8 г/л гліколіпідів на півній дробині (Marchut-Mikołajczyk et al., 2021), а також про ізольований з рису штам *B. velezensis* XT1 СЕСТ 8661, який синтезує 10 г/л ліпопептидів на середовищі із сахарозою (Toral., Rodríguez, Béjar, & Sampedro, 2018).

Таблиця 2. Синтез поверхнево-активних речовин ендоефітними бактеріями

ПАР	Штам-продуцент	Рослина, з якої виділено штам	Хімічний склад ПАР	Ростовий субстрат, концентрація (г/л)	Концентрація ПАР, г/л	Література
Ліпопептиди	<i>Bacillus subtilis</i> LE24	Лайм	Неідентифіковані циклічні ліпопептиди	Крохмаль, глюкоза (кількість не наведено)	Не наведено	Daungfu, Youpensuk, & Lumyong, 2019
	<i>Bacillus tequilensis</i> PO80	Помело	Неідентифіковані циклічні ліпопептиди	Глюкоза, пептон (кількість не наведено)	Не наведено	Daungfu, Youpensuk, & Lumyong, 2019
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> LE109	Лайм	Неідентифіковані циклічні ліпопептиди	Глюкоза, пептон (кількість не наведено)	Не наведено	Daungfu, Youpensuk, & Lumyong, 2019
	<i>Bacillus velezensis</i> XT1 СЕСТ 8661	Рис	Сурфактин, фенгіцин А, фенгіцин В, баціломіцин D	Сахароза, 20 пептон, 30	10	Toral., Rodríguez, Béjar, & Sampedro, 2018
	<i>Bacillus mojavensis</i> RRC101	Кукурудза	Ізоформи фенгіцину	Сахароза, 20	Не наведено	Blacutt, Mitchell, Bacon, & Gold, 2016
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> C5	Маслина європейська	Сурфактин, баціломіцин D	Глюкоза, 20 борошно виноградних кісточок, 20	0,80	Soussi et al., 2019
	<i>Bacillus subtilis</i> K1	Фікус бенгальський	Ігурин, сурфактин, фенгіцин	Глюкоза, 50	Не наведено	Pathak, & Keharia, 2014
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> Cp24	Папірус	Суміш 19 сполук, у тому числі й ліпопептид	Трипсиново-соеве середовище	Не наведено	Amer, Wasfi, & Hamed, 2023

Гліколіпіди	<i>Bacillus pumilus</i> 2A	Чистотіл	Не ідентифіковано	Пивна дробина, 5 %	6,8	Marchut-Mikołajczyk et al., 2021
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> L10	Очерет	Рамноліпід	Глюкоза (кількість не наведено)	Не наведено	Wu et al., 2018
	<i>Pantoea al.hagiv</i> Zcb15	<i>Zygothylum cornutum</i>	Не ідентифіковано	Триптон, 10, дріжджовий екстракт, 5 соняшникова олія (кількість не наведено)	Не наведено	Essghaier et al., 2023

Зазначимо, що ПАР-синтезувальна здатність ендоефітного штаму *B. velezensis* XT1 СЕСТ 8661 є суттєво вищою не тільки порівняно з такою ризосферних бактерій (табл. 1), а й описаних у літературі продуцентів ліпопептидів (Janek et al., 2021; de Oliveira Schmidt et al., 2022; Ciurko et al., 2022; Zhou et al., 2023). Так, штам *B. subtilis* #309 за умов росту на відходах виробництва біодизелю синтезував 2,8 г/л ліпопептидів (Janek et al., 2021), на ріпаковій і соняшниковій макусі — 1,2—1,45 г/л ліпопептидів (Ciurko et al., 2022), під час культивування на мелясі *B. Subtilis* YPS-32 утворював 2,39 г/л сурфактину. Цілком імовірно, що подальша оптимізація умов культивування ендоефітного штаму *B. velezensis* XT1 СЕСТ 8661 (Toral, Rodríguez, Béjar, & Sampredo, 2018) дасть змогу підвищити концентрацію синтезованих ліпопептидів вище встановлених натепер (10 г/л).

Варто зазначити, що переважна більшість ендоефітних бактерій так само, як і ризосферних, на сьогоднішньому етапі їх досліджень не є перспективними біологічними агентами для промислового одержання рамноліпідів і ліпопептидів.

Фізіологічна роль поверхнево-активних речовин, синтезованих асоційованими з рослинами бактеріями. З точки зору впливу на рослину бактеріальні ендоефіти мають перевагу перед бактеріями, які населяють ризосферу, оскільки вони існують у тканинах рослин, завжди перебувають у контакті з їх клітинами, завдяки чому можуть ефективніше спричинити позитивну дію (Пирог, Палійчук, Іутинська, & Шевчук, 2018). Проте ризосферні бактерії здатні колонізувати коріння рослин, і ця мікроекосистема є одним з первинних джерел ендоефітної колонізації. Основна фізіологічна роль ПАР, синтезованих ризосферними та ендоефітними бактеріями, полягає у їх здатності контролювати чисельність фітопатогенних бактерій і грибів.

У табл. 3 наведено дані щодо впливу поверхнево-активних речовин, синтезованих асоційованими з рослинами бактерій, на фітопатогенні бактерії. Антимікробну активність поверхнево-активних речовин оцінювали за трьома основними показниками: мінімальна інгібуюча концентрація, зони затримки росту тест-культур на агаризованих середовищах та інгібування росту тест-культур у рідких середовищах. Дані табл. 3 свідчать про те, що ризосферні та ендоефітні бактерії синтезують ПАР, яким притаманна помірна антибактеріальна щодо фітопатогенів

активність. Так, мінімальні інгібуючі концентрації ПАР щодо представників родів *Clavibacter* і *Xanthomonas* перебувають у межах 31—5000 мкг/мл, зони затримки росту більшості досліджуваних тест-культур фітопатогенних бактерій становлять у середньому 5—10 мм (табл. 3). У той же час в огляді (Pirog, Piatetska, Yarova, & Iutynska, 2021) ми зазначали, що, наприклад, інші ліпопептиди, синтезовані не асоційованими з рослинами мікроорганізмами, проявляють значно вищу антимікробну щодо фітопатогенних бактерій активність (мінімальні інгібуючі концентрації в діапазоні 3—75 мкг/мл). На нашу думку, це зумовлено тим, що, крім поверхнево-активних речовин, ризосферні та ендofітні бактерії синтезують й інші метаболіти з антимікробною дією, зокрема антибіотики та ферменти, що руйнують клітинні стінки патогенів.

У табл. 4 наведено дані щодо дії на фітопатогенні гриби поверхнево-активних речовин, синтезованих ризосферними та ендofітними бактеріями. Зазначимо, що більшість дослідників як сновний критерій антифунгальної активності використовували ступінь інгібування міцеліального росту, і лише в деяких дослідженнях визначали мінімальні інгібуючі концентрації ПАР (Toral, Rodríguez, Béjar, & Sampredo, 2018; Li et al., 2020; Castro et al., 2020) або зони затримки росту (Chen et al., 2019; Hazarika et al., 2019; Korangi Alleluya et al., 2023). Автори деяких статей антифунгальну активність ПАР оцінювали за двома показниками, аналізуючи МІК і ступінь інгібування росту (Jan et al., 2023), або ступінь інгібування росту і зони його затримки (Chen et al., 2019; Hazarika et al., 2019).

Таблиця 3. Антибактеріальна щодо фітопатогенів активність поверхнево-активних речовин, синтезованих асоційованими з рослинами бактеріями

ПАР	Продукт	Хімічний склад	Рослина, з якої виділено штам	Тест-культура	Антимікробна активність		Література
					МІК, мкг/мл (інгібування росту, %)	Зони затримки росту, мм	
Ліпопептиди	<i>Bacillus subtilis</i> LE24	Циклічні ліпопептиди	Лайм	<i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i>		24,4	Daungfu, Youpensuk, & Lumyong, 2019
	<i>Bacillus tequilensis</i> PO80	Циклічні ліпопептиди	Лайм	<i>Xanthomonas . citri</i> subsp. <i>citri</i>		22,8	Daungfu, Youpensuk, & Lumyong, 2019
	<i>Bacillus amylolique-faciens</i> LE109	Циклічні ліпопептиди	Лайм	<i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i>		25,7	Daungfu, Youpensuk, & Lumyong, 2019

	<i>Bacillus</i> spp.	Циклічні ліпопептиди	Рослини, вирощені на узбіччях доріг, навколо польових культур або в громадських лісах	<i>Erwinia amylovora</i> PMV6076, <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i> EPS94, <i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>fragariae</i> CFBP3549, <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>vesicatoria</i> CFBP3275, <i>Ral.stonia solanacearum</i> CECT125, <i>Clavibacter michiganensis</i> sbsp. <i>michiganensis</i> CECT790, <i>Pectobacterium carotovorum</i> sbsp. <i>carotovorum</i> CECT225		ПАР 75% ізолятів пригнічували ріст від 6 до 8 бактеріальних збудників рослин (зони затримки росту не наведено)	Mora, Cabrefiga, & Montesinos, 2015
	<i>Bacillus</i> spp. SS-12.6	Ігурин, баціломіцин, сурфактин	Не наведено	<i>Xanthomonas arboricola</i> <i>Pectobacterium carotovorum</i> <i>Pectobacterium carotovorum</i>		10 4 4	Dimkić et al., 2013
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> JK6	Сурфактин	Томати	<i>Ral.stonia solanacearum</i>		34,7	Xiong et al., 2015
	<i>Bacillus velezensis</i> D-6	Сурфактин	Картопля	<i>Clavibacter michiganensis</i> <i>Erwinia amylovora</i> <i>Pantoea agglomerans</i> <i>Ral.stonia solanacearum</i> <i>Xanthomonas campestris</i> <i>Xanthomonas euvesicatoria</i>		2—5 0 2 2 5—10 5—10	Grady et al., 2019
	<i>Bacillus velezensis</i> 1B-23	Сурфактин	Картопля	<i>Clavibacter michiganensis</i> 98—1 <i>Clavibacter michiganensis</i> JD83—1	1000 1000		Li et al., 2021

	<i>Bacillus velezensis</i> 25(Bv-25)	Сурфактин ігурин фенгіцин баціломіцин	Цитрусові	<i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i> XccW1 <i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i> XccM4	31,25 31,25		Rabbee, & Baek, 2023
	<i>Bacillus velezensis</i> Y6	Сурфактин ігурин фенгіцин	Томати	<i>Ral. stonia solanacearum</i> GM11000		Пригнічення росту (розмір зон інгібування не наведено)	Cao et al., 2018
	<i>Paenibacillus polymyxa</i> Sx3	Фузаріцидин А фузаріцидин В	Бавовник	20 штамів <i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>		5—11	Abdallah et al., 2019
Гліколіпіди	<i>Acinetobacter</i> sp. ACMS25	Склад не наведено	Катарантус рожевий	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i> XAV24	43,5%		Shalini et al., 2017
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> RTE4	Дирамноліпід	Чай	<i>Xanthomonas campestris</i>	5000		Chopra et al., 2020

Таблиця 4. Анфунгальна щодо фітопатогенів активність поверхнево-активних речовин, синтезованих асоційованими з рослинами бактеріями

ПАР	Продуцент	Хімічний склад	Рослина, з якої виділено штамі	Тест-культура	Антимікробна активність		Література
					МІК, мкг/мл (інгібування росту, %)	Зони затримки росту, мм	
ПАР ризосферних бактерій							
Ліпопептиди	<i>Bacillus velezensis</i> S141	Сурфактин баціломіцин D	Соя	<i>Cercospora canescens</i>	80%		Songwattana et al., 2023
	<i>Bacillus velezensis</i> Y6	Ігурин	Томати	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i> JX090598 <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cucumerinum</i>	90%		Cao et al., 2018

	<i>Bacillus velezensis</i> GA1	Сурфактин ігурин фенгіцин	Полуниця	<i>Athelia rolfsii</i> (Curzi) Tu & Kimbrough <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Rhizoctonia solani</i>	25 10 10 10		Korangi Alleluya et al., 2023
	<i>Bacillus al.titudinis</i> MS16	Сурфактин ігурин	Культурні рослини	<i>Fusarium verticillioides</i> <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> <i>Corynespora cassiicola</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>Pisi</i> <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	29,9% 42,8% 33,8% 22,9% 41,2%		Goswami, & Deka, 2019
	<i>Bacillus subtilis</i> FJ3	Сурфактин ігурин фенгіцин	Сільсько-господарські рослини	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Rhizopus oryzae</i>	781 (81,5%) 781 (92%) 3125 (90%) 1560 (56%)		Jan et al., 2023
	<i>Bacillus velezensis</i> XT1CECT 8661	Сурфактин баціломіцин D фенгіцин	Не вказано	<i>Botrytis cinerea</i>	8000		Toral, Rodríguez, Béjar, & Sampedro, 2018
ПАР ендofітних бактерій							
Ліпопептиди	<i>Bacillus velezensis</i> FZ06	Ігурин сурфактин фенгіцин	Камелія асамська	<i>Aspergillus niger</i> FZ11 <i>Aspergillus flavus</i> CGMCC 3.4410 <i>Aspergillus parasiticus</i> GIM 3.395 <i>Fusarium moniliforme</i> CCTCC AF 91017	256 128 128 128		Li et al., 2020
	<i>Bacillus mojavensis</i> RRC101	Фенгіцин сурфактин	Кукурудза	<i>Fusarium verticillioides</i> M3125	Інгібування росту міцелію (ступінь інгібування не наведено)		Blacutt, Mitchell, Bacon, & Gold, 2016
	<i>Bacillus subtilis</i> 9407	Фенгіцин	Яблуко	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> <i>Al.ternaria solani</i> <i>Botryosphaeria dothidea</i> <i>Penicillium expansum</i>	≥ 71% ≥ 71% 51—70% 51—70%		Fan et al., 2017

<i>Bacillus velezensis</i> XT1	Сурфактин бациломіцин D фенгіцин A i B	Олива	<i>Verticillium dahliae</i> V024	20000 (88%)		Castro et al., 2020
<i>Bacillus licheniformis</i> GL174	Сурфактин ліхенізін	Виноград	<i>Botrytis cinerea</i> <i>Phaeoacremonium aleophilum</i> <i>Botryosphaeria spp.</i> <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	84,7% 86% 63% 84%		Nigris et al., 2018
<i>Bacillus subtilis</i> SCB-1	Сурфактин фенгіцин	Цукрова тростина	<i>Saccharicola bicolor</i> SC1.4 <i>Neodeightonia subglobosa</i> SC2.1 <i>Cochliobolus hawaiiensis</i> SC2.3 <i>Curvularia senegalensis</i> SC4.1 <i>Phomopsis sp.</i> SC4.2 <i>Curvularia lunata</i> SC5.1 <i>Al.ternaria al.ternata</i> SC6.2 <i>Fusarium oxysporum</i> SC7.1 <i>Fusarium verticillioides</i> SC8.1 <i>Fusarium sp.</i> SC9.1	58% 12% 41% 40% 53% 50% 52% 30% 32% 37%	13,33 15,00 11,67 12,67 13,67 15,67 15,33 9,67 9,00 10,00	Hazarika et al., 2019
<i>Bacillus velezensis</i> LHSB1	Бациломіцин A сурфактин A фенгіцин A	Арахіс	<i>Sclerotium rolfsii</i>	93,8%		Chen et al., 2020
<i>Bacillus velezensis</i> LDO2	Фенгіцин сурфактин		<i>Aspergillus tenuissima</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Rhizopus sp.</i>	79% 81% 80% 81% 81% 79% 76%	5,8 6,5 6,1 6,6 6,7 5,9 4,5	Chen et al., 2019

Так само, як і дані, наведені в табл. 3, дані табл. 4 свідчать про те, що асоційовані з рослинами бактерії синтезують ПАР, яким притаманна помірна антифунгальна щодо фітопатогенів активність (мінімальні інгібуючі концентрації становлять від 128 до 20000 мкг/мл, а зони затримки росту — 5—15 мм). В огляді літератури (Pirog, Piatetska, Yarova, & Iutynska, 2021) ми акцентували увагу на тому, що МІК щодо фітопатогенних грибів ліпопептидів, синтезованих традиційними

продуцентами, перебувають у межах 40—8000 мкг/мл, що на порядок нижче порівняно з показниками, встановленими для ПАР ризосферних та ендofітних бактерій (табл. 4).

Порівняння хімічного складу ліпопептидів, синтезованих асоційованими з рослинами бактерій, та їх антимікробної активності (табл. 3 і 4) свідчить про те, що у складі комплексу ПАР з антифунгальною активністю наявний фенгіцин. У нашій попередній праці (Пирог, Ключка, Шевчук, & Мучник, 2019) ми зазначали, що ліпопептиди з довшим ацильним ланцюгом (C16—C18) є гідрофобнішими (на відміну від ПАР з коротшим ланцюгом, які є гідрофільними), завдяки чому можуть легше проникати через клітинні стінки грибів і дріжджів, тому зазвичай вища антифунгальна активність притаманна ліпопептидам, що містять C16—C18-ацильний ланцюг, а ПАР з меншою кількістю атомів карбону (C7—C14) у складі жирнокислотного залишку характеризуються антибактеріальною активністю.

Крім контролю чисельності фітопатогенів, ПАР асоційованих з рослинами бактерій беруть участь у процесах рослинно-мікробної взаємодії і стимуляції росту рослин. Так, рамноліпіди належать до так званих мікроб-асоційованих молекулярних структур (microbe-associated molecular patterns, MAMPs), своєрідних тригерів, що зумовлюють неспецифічний імунітет рослин, потужними MAMP-елісіторами (еліситор — речовина, що індукує загальну і неспецифічну стійкість рослин) є також і ліпопептиди (Пирог, Палійчук, Іутинська, & Шевчук, 2018). Для проявлення позитивного впливу ризосферних бактерій на рослину необхідною є взаємодія цих бактерій з рослинною поверхнею (коріння). Така взаємодія забезпечується рухливістю ризобактерій, їх здатністю утворювати біоплівки на поверхні коренів і вивільненням молекул кворумних сигналів. Кворум-сенсорні молекули, такі як ацил-гомосерин лактон, необхідні для синтезу антифунгальних сполук ризобактеріями. Ацил-гомосерин лактон і ацил-гомосерин лактон-подібні молекули регулюють також утворення екзополісахаридів, необхідних для формування біоплівки. У свою чергу, регуляторами синтезу кворум-сенсорних молекул є рамноліпіди (Пирог, Палійчук, Іутинська, & Шевчук, 2018).

Висновки

Отже, натепер асоційовані з рослинами бактерії не можуть розглядатися як потенційні промислові продуценти рамноліпідів і ліпопептидів через відносно невисокий рівень синтезу ПАР. Водночас наявний арсенал фізіологічних (оптимізація складу поживного середовища, встановлення оптимальних умов культивування, внесення екзогенних попередників біосинтезу, конкурентних мікроорганізмів у середовище тощо), а також генетичних (мутагенез, генетична рекомбінація) підходів є ефективним інструментарієм для підвищення ПАР-синтезувальної здатності ризобактерій та їх антимікробної активності.

Література

Пирог, Т. П., Палійчук, О. І., Іутинська, Г. О., Шевчук, Т. А. (2018). Перспективи використання мікробних поверхнево-активних речовин у рослинництві. *Мікробіологічний журнал*, 80(3), 115—134. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.03.115>.

Пирог, Т. П., Ключка, Л. В., Шевчук, Т. А., Мучник, Ф. В. (2019). Взаємозв'язок хімічного складу і біологічних властивостей мікробних поверхнево-активних речовин. *Мікробіологічний*

журнал, 81(3), 84—104. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj81.03.084>.

Abdallah, Y., Yang, M., Zhang, M., Masum, M. M. I., Ogunyemi, S. O., Hossain, A., & Bin, L. (2019). Plant growth promotion and suppression of bacterial leaf blight in rice by *Paenibacillus polymyxa* Sx3. *Letters in Applied Microbiology*, 68(5). doi:10.1111/lam.13117.

Abdallah, D. B., Krier, F., Jacques, P., Tounsi, S., & Frikha-Gargouri, O. (2020). *Agrobacterium tumefaciens* C58 presence affects *Bacillus velezensis* 32a ecological. fitness in the tomato rhizosphere. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 28429—28437. doi:10.1007/s11356-020-09124-1.

Amer, M. A., Wasfi, R., & Hamed, S. M. (2023). Biosurfactant from *Nile Papyrus* endophyte with potential antibiofilm activity against global clones of *Acinetobacter baumannii* *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13, 1210195. doi: 10.3389/fcimb.2023.1210195.

Blacutt, A. A., Mitchell, T. R., Bacon, C. W., & Gold, S. E. (2016). *Bacillus mojavensis* RRC101 lipopeptides provoke physiological and metabolic changes during antagonism against *Fusarium verticillioides*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 29(9), 713—723.

Cao, Y., Pi, H., Chandrangu, P., Li, Y., Wang, Y., Zhou, H., & Cai, Y. (2018). Antagonism of two plant-growth promoting *Bacillus velezensis* isolates against *Ralstonia solanacearum* and *Fusarium oxysporum*. *Scientific Reports*, 8(1), doi:10.1038/s41598-018-22782-z.

Castro, D., Torres, M., Sampedro, I., Martínez-Checa, F., Torres, B., & Béjar, V. (2020). Biological control of *Verticillium* wilt on olive trees by the salt-tolerant strain *Bacillus velezensis* XT1. *Microorganisms*, 8(7), 1080. doi: 10.3390/microorganisms8071080.

Chen, Q., Liu, B., Wang, J., Che, J., Liu, G., & Guan X. (2017). Antifungal lipopeptides produced by *Bacillus* sp. FJAT-14262 isolated from rhizosphere soil of the medicinal. plant *Anoectochilus roxburghii*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 182(1), 155—167. doi: 10.1007/s12010-016-2317-z.

Chen, L., Shi, H., Heng, J., Wang, D., & Bian, K. (2019). Antimicrobial, plant growth-promoting and genomic properties of the peanut endophyte *Bacillus velezensis* LDO2. *Microbiology Research*, 218, 41—48. doi: 10.1016/j.micres.2018.10.002.

Chen, L., Wu, Y. D., Chong, X. Y., Xin, Q. H., Wang, D. X., & Bian, K. (2020). Seed-borne endophytic *Bacillus velezensis* LHSB1 mediate the biocontrol of peanut stem rot caused by *Sclerotium rolfsii*. *Journal of Applied Microbiology*, 128(3), 803—813. doi: 10.1111/jam.14508.

Chopra, A., Bobate, S., Rahi, P., Banpurkar, A., Mazumder, P. B., & Satpute, S. (2020). *Pseudomonas aeruginosa* RTE4: A tea *Rhizobacterium* with potential for plant growth promotion and bio-surfactant production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8(861). doi: 10.3389/fbioe.2020.00861.

Ciurko, D., Czyżnikowska, Ż., Kancelista, A., Łaba, W., & Janek, T. (2022). Sustainable production of biosurfactant from agro-industrial oil wastes by *Bacillus subtilis* and its potential application as antioxidant and ACE inhibitor. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18),10824. doi: 10.3390/ijms231810824.

Daungfu, O., Youpensuk, S., & Lumyong, S. (2019). Endophytic bacteria isolated from citrus plants for biological control of citrus canker in lime plants. *Tropical. Life Sciences Research*, 30(1), 73—88. doi:10.21315/tlsr2019.30.1.5.

Deepika, K. V., Ramu Sridhar, P., & Bramhachari P. (2015). Characterization and antifungal properties of rhamnolipids produced by mangrove sediment bacterium *Pseudomonas aeruginosa* strain KVD-HM52. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 4(4), 608—615. doi:10.1016/j.bcab.2015.09.009.

De Oliveira Schmidt, V. K., de Vasconcelos, G. M. D., Vicente, R., de Souza Carvalho, J., Della-Flora, I. K., Degang, L., ..., & de Andrade, C. J. (2022). Cassava wastewater valorization for the production of biosurfactants: surfactin, rhamnolipids, and mannosileritritol lipids. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(2), 65. doi: 10.1007/s11274-022-03510-2.

Dias, M. A. M., & Nitschke, M. (2023). Bacterial-derived surfactants: an update on general Aspects and forthcoming applications. *Brazilian Journal of Microbiology*, 54(1), 103—123. doi: 10.1007/s42770-023-00905-7.

Dimkić, I., Živković, S., Berić, T., Ivanović, Ž., Gavrilović, V., Stanković, S., & Fira, D. (2013). Characterization and evaluation of two *Bacillus* strains SS-12.6 and SS-13.1, as potential agents for the

control of phytopathogenic bacteria and fungi. *Biological Control*, 65(3), 312—321. doi:10.1016/j.biocontrol.2013.03.012.

Essghaier, B., Mallat, N., Khwaldia, K., Mottola, F., Rocco, L., & Hannachi, H. (2023). Production and characterization of new biosurfactants/bioemulsifiers from *Pantoea alhagi* and their antioxidant, antimicrobial and anti-biofilm potentiality evaluations. *Molecules*, 28(4), 1912. doi: 10.3390/molecules28041912.

Fan, H., Ru, J., Zhang, Y., Wang, Q., & Li, Y. (2017). Fengycin produced by *Bacillus subtilis* 9407 plays a major role in the biocontrol of apple ring rot disease. *Microbiological Research*, 199, 89—97. doi: 10.1016/j.micres.2017.03.004.

Gong, Z., Yang, G., Che, C., Liu, J., Si, M., & He, Q. (2021). Foaming of rhamnolipids fermentation: impact factors and fermentation strategies. *Microbial Cell Factories*, 20(1), 77. doi: 10.1186/s12934-021-01516-3.

Gopalakrishnan, S., Sathya, A., Vijayabharathi, R., Varshney, R. K., Gowda, C. L., & Krishnamurthy, L. (2015). Plant growth promoting rhizobia: challenges and opportunities. *3 Biotech*, 5(4), 355—377. doi: 10.1007/s13205-014-0241-x.

Goswami, M., & Deka, S. (2019). Biosurfactant production by a rhizosphere bacteria *Bacillus altitudinis* MS16 and its promising emulsification and antifungal activity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 178, 285—296. doi: 10.1016/j.colsurfb.2019.03.003.

Grady, E. N., MacDonald, J., Ho, M. T., Weselowski, B., McDowell, T., Solomon, O., ..., & Yuan, Z. C. (2019). Characterization and complete genome analysis of the surfactin-producing, plant-protecting bacterium *Bacillus velezensis* 9D-6. *BMC Microbiology*, 19(1):5. doi: 10.1186/s12866-018-1380-8.

Harjot, P. K., Bhairav, P., & Sukhvir, K. (2015). A review on applications of biosurfactants produced from unconventional inexpensive wastes in food and agriculture industry. *World Journal of Pharmaceutical and Medical Research*, 8(4), 827—842.

Hazarika, D. J., Goswami, G., Gautom, T., Parveen, A., Das, P., Barooah, M., & Boro, R. C. (2019). Lipopeptide mediated biocontrol activity of endophytic *Bacillus subtilis* against fungal Phytopathogens. *BMC Microbiology*, 19(1), 71. doi: 10.1186/s12866-019-1440-8.

Isha, M., Tahmish, F., Egamberdieva, D., Egamberdieva, D., & Arora N.K. (2020). Novel bioformulations developed from *Pseudomonas putida* BSP9 and its biosurfactant for growth promotion of *Brassica juncea* (L.). *Plants*, 9(10), 1349. doi: 10.3390/plants9101349.

Jan, F., Arshad, H., Ahad, M., Jamal, A., & Smith, D. L. (2023). In vitro assessment of *Bacillus subtilis* FJ3 affirms its biocontrol and plant growth promoting potential. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1205894. doi: 10.3389/fpls.2023.1205894.

Janek, T., Gudiña, E. J., Polomska, X., Biniarz, P., Jama, D., Rodrigues, L. R., ..., & Lazar, Z. (2021). Sustainable surfactin production by *Bacillus subtilis* using crude glycerol from different wastes. *Molecules*, 26(12), 3488. doi: 10.3390/molecules26123488.

Karamchandani, B. M., Pawar, A. A., Pawar, S. S., Syed, S., Mone, N. S., Dalvi, S. G., ..., & Satpute, S. K. (2022). Biosurfactants' multifarious functional potential for sustainable agricultural practices. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 1047279. doi: 10.3389/fbioe.2022.1047279.

Korangi Alleluya, V., Argüelles Arias, A., Ribeiro, B., De Coninck, B., Helmus, C., Delaplace, P., & Ongena, M. (2023). *Bacillus* lipopeptide-mediated biocontrol of peanut stem rot caused by *Athelia rolfsii* *Frontiers in Plant Science*, 20, 14:1069971. doi: 10.3389/fpls.2023.1069971.

Kwon, J. W., & Kim, S. D. (2014). Characterization of an antibiotic produced by *Bacillus subtilis* JW-1 that suppresses *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(1), 13—18. <http://dx.doi.org/10.4014/jmb.1308.08060>.

Li, F. Z., Zeng, Y. J., Zong, M. H., Yang, J. G., & Lou, W. Y. (2020). Bioprospecting of a novel endophytic *Bacillus velezensis* FZ06 from leaves of *Camellia assamica*: production of three groups of lipopeptides and the inhibition against food spoilage microorganisms. *Journal of Biotechnology*, 323, 42—53. doi: 10.1016/j.jbiotec.2020.07.021.

Li, M. S. M., Piccoli, D. A., McDowell, T., McDonald, J., Renaud, J., & Yuan, Z. C. (2021). Evaluating the biocontrol potential of Canadian strain *Bacillus velezensis* 1B-23 via its surfactin

production at various pHs and temperatures. *BMC Biotechnology*, 21(1), 31. doi: 10.1186/s12896-021-00690-x.

Madhurankhi, G., & Suresh, D. (2019). Biosurfactant production by a rhizosphere bacteria *Bacillus altitudinis* MS16 and its promising emulsification and antifungal activity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 178, 285—296. doi: 10.1016/j.colsurfb.2019.03.003.

Marchut-Mikołajczyk, O., Drożdżyński, P., Polewczyk, A., Smulek, W., & Antczak, T. (2021). Biosurfactant from endophytic *Bacillus pumilus* 2A: physicochemical, characterization, production and optimization and potential for plant growth promotion. *Microbial Cell Factories*, 20(40). doi.org/10.1186/s12934-021-01533-2.

Mnif, I., & Ghribi, D. (2016). Glycolipid biosurfactants: main properties and potential applications in agriculture and food industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 4310—4320. doi: 10.1002/jsfa.7759.

Mora, I., Cabrefiga, J., & Montesinos E. (2015). Cyclic lipopeptide biosynthetic genes and products, and inhibitory activity of plant-associated *Bacillus* against phytopathogenic bacteria. *PLoS One*, 10(5):e0127738. doi: 10.1371/journal.pone.0127738.

Nagtode, V. S., Cardoza, C., Yasin, H. K. A., Mali, S. N., Tambe, S. M., Roy, P., ..., & Pratap, A. P. (2023). Green surfactants (biosurfactants): a petroleum-free substitute for sustainability-comparison, applications, market, and future prospects. *ACS Omega*, 8(13), 11674—11699. doi: 10.1021/acsomega.3c00591.

Nigris, S., Baldan, E., Tondello, A., Zanella, F., Vitulo, N., Favaro, G., ..., & Baldan, B. (2018). Biocontrol traits of *Bacillus licheniformis* GL174, a culturable endophyte of *Vitis vinifera* cv. *glera*. *BMC Microbiology*, 18(1), 133. doi: 10.1186/s12866-018-1306-5.

Oluwaseun, A. C., Kola, O. J., Mishra, P., Singh J. R., Singh, A. K., Cameotra, S. S., & Micheal, B. O. (2017). Characterization and optimization of a rhamnolipid from *Pseudomonas aeruginosa* C1501 with novel biosurfactant activities. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 6, 26—36. doi:10.1016/j.scp.2017.07.001.

Pathak, K. V., & Keharia, H. (2014). Application of extracellular lipopeptide biosurfactant produced by endophytic isolated from aerial roots of banyan (*Ficus benghalensis*) in microbially enhanced oil recovery (MEOR). *3 Biotech*, 4(1), 41—48. doi: 10.1007/s13205-013-0119-3.

Pirog, T. P., Iutynska, G. O., Leonova, N. O., Beregova, K. A., & Schevchuk T. A. (2018). Microbial synthesis of phytohormones. *Biotechnologia Acta*, 11(1), 5—24. https://doi.org/10.15407/biotech11.01.005.

Pirog, T. P., Piatetska, D. V., Yarova, H. A., Iutynska, G. O. (2021). Effect on phytopathogenic microorganisms of surfactants of microbial origin. *Mikrobiolohichniy Zhurnal*, 83(6), 75—94. doi: https://doi.org/10.15407/microbiolj83.06.075.

Rabbee, M. F., & Baek, K. H. (2023). Detection of antagonistic compounds synthesized by *Bacillus velezensis* against *Xanthomonas citri* subsp. *citri* by metabolome and RNA sequencing. *Microorganisms*, 11(6), 1523. doi: 10.3390/microorganisms11061523.

Shalini, D., Benson, A., Gomathi, R., John Henry, A., Jerritt S., & Melvin Joe, M. (2017). Isolation, characterization of glycolipid type biosurfactant from endophytic *Acinetobacter* sp. ACMS25 and evaluation of its biocontrol efficiency against *Xanthomonas oryzae*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 11, 252—258. doi:10.1016/j.bcab.2017.07.013.

Singh, A. K., & Sharma, P. (2020). Disinfectant-like activity of lipopeptide biosurfactant produced by *Bacillus tequilensis* strain SDS21. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 185 (110514), doi:10.1016/j.colsurfb.2019.110514.

Soberón-Chávez, G., González-Valdez, A., Soto-Aceves, M. P., & Cocotl-Yañez, M. (2021). Rhamnolipids produced by *Pseudomonas*: from molecular genetics to the market. *Microbial Biotechnology*, 14(1), 136—146. doi: 10.1111/1751-7915.13700.

Songwattana, P., Boonchuen, P., Piromyong, P., Wongdee, J., Greetatorn, T., Inthaisong, S., ..., & Teamroong, N. (2023). Insights into antifungal mechanisms of *Bacillus velezensis* S141 against cercospora leaf spot in mungbean (*V. radiata*). *Microbes and Environments*, 38(1), ME22079. doi: 10.1264/jsme2.ME22079.

Sood, U., Singh, D. N., Hira, P., Lee, J. K., Kalia, V. C., Lal, R., & Shakarad, M. (2019). Rapid and

solitary production of mono-rhamnolipid biosurfactant and biofilm inhibiting pyocyanin by a taxonomic outlier *Pseudomonas aeruginosa* strain CR1. *Journal of Biotechnology*, 307, 98—106. doi:10.1016/j.jbiotec.2019.11.004.

Soussi, S., Essid, R., Hardouin, J., Gharbi, D., Elkahoui, S., Tabbene, O., ..., & Limam, F. (2019). Utilization of grape seed flour for antimicrobial lipopeptide production by *Bacillus amyloliquefaciens* C5 strain. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 187(4), 1460—1474. doi: 10.1007/s12010-018-2885-1.

Toral, L., Rodríguez, M., Béjar, V., & Sampedro, I. (2018). Antifungal activity of lipopeptides from *Bacillus* XT1 CECT 8661 against *Botrytis cinerea*. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1315. doi:10.3389/fmicb.2018.01315.

Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability — a review. *Molecules*, 2016, 21(5), E573. doi: 10.3390/molecules21050573.

Wu, T., Xu, J., Xie, W., Yao, Z., Yang, H., Sun, C., & Li, X. (2018). *Pseudomonas aeruginosa* L10: a hydrocarbon-degrading, biosurfactant-producing, and plant-growth-promoting endophytic bacterium isolated from a reed (*Phragmites australis*). *Frontiers in Microbiology*, 9, 1087. doi: 10.3389/fmicb.2018.01087.

Xiong, H., Li, Y., Cai, Y., Cao, Y., & Wang, Y. (2015). Isolation of *Bacillus amyloliquefaciens* JK6 and identification of its lipopeptides surfactin for suppressing tomato bacterial wilt RSC *Advances*, 5(100), 82042—82049. doi:10.1039/c5ra13142a.

Zhou, Y., Yang, X., Li, Q., Peng, Z., Li, J., & Zhang, J. (2023). Optimization of fermentation conditions for surfactin production by *B. subtilis* YPS-32. *BMC Microbiology*, 23(1), 117. doi: 10.1186/s12866-023-02838-5.

УДК 579.66:582.282.23

USE OF *SACCHAROMYCES* YEAST AND ITS METABOLITES FOR THE BIOSYNTHESIS OF NANOPARTICLES

O. Skrotska, P. Holubiev

National University of Food Technologies

Key words:

Nanoparticles
Biosynthesis
Mechanism of biosynthesis
Yeast
Saccharomycetes

Article history:

Received 11.03.2024
Received in revised form
27.03.2024
Accepted 15.04.2024

Corresponding author:

O. Skrotska
E-mail:
skrotska@ukr.net

Citation: Скроцька О. І., Голубєв П. К. (2024). Використання дріжджів роду *Saccharomyces* та їх метаболітів для біосинтезу наночастинок. *Наукові праці НУХТ*, 30(2), 61—78. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-7

ABSTRACT

Currently, biological methods of synthesis of nanoparticles are gaining more popularity, as they are environment friendly, simple, fast and cost-effective. Various biological objects can be used for a biosynthesis of nanoparticles, such as plants, archaea, viruses, bacteria, yeasts, fungi. Among them, yeast of the *Saccharomyces* genus has a number of advantages, since these microorganisms and their metabolites are completely safe for humans, animals and the environment. In addition, yeasts produce a large number of biologically active compounds (proteins, enzymes, amino acids, organic acids, vitamins), which can be involved in a biosynthesis and stabilization of nanoparticles.

There are different approaches to apply yeasts for a biosynthesis of nanoparticles. In particular, biomass, liquid culture, supernatant and cell-free aqueous extract can be used. At the same time, the parameters of biosynthesis such as temperature, pH, stirring, duration may differ. Depending on the choice of technique, nanoparticles of different shape and size can be obtained with different physicochemical and biological properties.

When using yeasts, both intracellular and extracellular biosynthesis of nanoparticles is possible. Considering the fact that yeasts are facultative anaerobes, it is possible to realize the biosynthesis of nanoparticles both in oxygen and in anoxic conditions. At the same time, the rate and efficiency of the biosynthesis process differ significantly depending on the type of nanoparticles.

Recently, the biosynthesis of various nanoparticles using yeasts of the *Saccharomyces* genus were investigated. These are noble metals nanoparticles (gold, silver, platinum, palladium), which are characterized by antibacterial, antifungal, antiviral and antitumor properties. Possible applications of such nanoparticles in food industry, medicine, agriculture and energy production were shown. Research on binary chalcogenides nanoparticles biosynthesis (selenium sulfide, zinc, cadmium) with use of *Saccharomyces cerevisiae* are performed. Such nanoparticles have better biological and electrochemical properties compared to their monocomponent counterparts due to better electrochemical kinetics and higher electronic conductivity.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-7

ВИКОРИСТАННЯ ДРІЖДЖІВ РОДУ *SACCHAROMYCES* ТА ЇХ МЕТАБОЛІТІВ ДЛЯ БІОСИНТЕЗУ НАНОЧАСТИНОК

О. І. Скроцька, П. К. Голубєв

Національний університет харчових технологій

Нині все більшої популярності набирають біологічні методи синтезу наночастинок, оскільки вони є екологічними, а також простими, швидкими та економічно ефективними. Для біосинтезу наночастинок можна використовувати різні біологічні об'єкти — рослини, археї, віруси, бактерії, дріжджі, гриби. Серед них дріжджі роду *Saccharomyces* мають ряд переваг, оскільки ці мікроорганізми та їх метаболіти є повністю безпечними для людини, тварин і навколишнього середовища. Крім того, дріжджі синтезують велику кількість біологічно активних сполук (білки, ферменти, амінокислоти, органічні кислоти, вітаміни), які можуть брати участь у біосинтезі та стабілізації наночастинок.

Існують різні підходи при використанні дріжджів для біосинтезу наночастинок. Зокрема, можна використовувати біомасу, культуральну рідину, супернатант, безклітинний водний екстракт. При цьому відрізняються і параметри біосинтезу: температура, рН, перемішування, тривалість. Залежно від вибору методики можна отримати наночастинок різної форми та розмірів, які також будуть відрізнятися за своїми фізико-хімічними та біологічними властивостями.

При використанні дріжджів можливий як внутрішньоклітинний біосинтез наночастинок, так і позаклітинний. А оскільки дріжджі є факультативними анаеробами, можлива реалізація біосинтезу наночастинок як у кисневих, так і в безкисневих умовах. При цьому швидкість та ефективність процесу біосинтезу суттєво відрізняються залежно від типу наночастинок.

На сьогодні досліджено біосинтез різних наночастинок з використанням дріжджів роду *Saccharomyces*. Це і наночастинок благородних металів (золото, срібло, платина, паладій), які характеризуються антибактеріальними, протигрибковими, антивірусними та протипухлинними властивостями. Показана можливість використання цих наночастинок у харчовій промисловості, медицині, сільському господарстві й енергетиці. Також досліджується біосинтез інших наночастинок з використанням сахароміцетів — селену, заліза, барію, оксиду титану, оксиду цинку, оксиду сурми тощо.

Досліджується біосинтез наночастинок бінарних халькогенідів (сульфід селену, цинку, кадмію) з використанням *Saccharomyces cerevisiae*. Такі наночастинок мають кращі біологічні та електрохімічні властивості порівняно зі своїми монокомпонентними аналогами завдяки швидшій електрохімічній кінетиці та вищій електронній провідності.

Ключові слова: наночастинок, біосинтез, механізм біосинтезу, дріжджі, сахароміцети

Постановка проблеми. Нині активно розвиваються біотехнології наночастинок, унікальні властивості яких роблять ці матеріали незамінними в багатьох

сферах людської діяльності (Githala, & Trivedi, 2023). Наночастинки та наноматеріали мають величезні перспективи застосування — від медицини, біології, сільськогосподарства, харчових технологій та електроніки до аерокосмічної техніки (Bhat et al., 2021; Kumar et al., 2021; Nile et al., 2020; Singh et al., 2023; Todaria et al., 2024).

На сьогодні зростає увага дослідників до біологічних методів синтезу наночастинок, оскільки вони є екологічно чистими, а також простими, швидкими та економічно ефективними (Chopra et al., 2022). Нині існують різні біологічні джерела, які можна використовувати для біосинтезу наночастинок — рослини, археї, віруси, бактерії, гриби, дріжджі. При цьому їх біомолекули виконують роль відновників і стабілізаторів під час біосинтезу наночастинок (Arul et al., 2024; Mustapha et al., 2022; Saravanan et al., 2021). Серед різних біологічних об'єктів дріжджі мають ряд переваг при їх використанні для біосинтезу наночастинок. Ці мікроорганізми та їх метаболіти є повністю безпечними для людини, тварин і навколишнього середовища. Крім того, дріжджі синтезують велику кількість біологічно активних сполук (білки, ферменти, амінокислоти, органічні кислоти, вітаміни), які можуть брати участь у біосинтезі та стабілізації наночастинок (Skalickova, Baron, & Sochor, 2017).

Метою огляду є аналіз наукових публікацій та узагальнення даних експериментальних досліджень, що стосуються можливостей використання дріжджів для біосинтезу наночастинок металів, оксидів металів, бінарних халькогенідів тощо, а також умов та механізмів їх біосинтезу.

Матеріали і методи. Наукові дослідження, які були проаналізовані в цьому огляді, стосуються використання дріжджів роду *Saccharomyces* для біосинтезу наночастинок. При написанні огляду були використані наукові публікації зарубіжних і вітчизняних вчених у міжнародних виданнях в основному за останні 10 років. Більшість проаналізованих статей датовані 2018—2023 роками. Для пошуку наукових публікацій використовували наукометричні бази даних: PubMed, Google Scholar.

Викладення основних результатів дослідження. Біосинтез наночастинок із використанням біомаси дріжджів. Використання біомаси дріжджів для одержання наночастинок є найбільш очевидним, оскільки передбачає залучення всього потенціалу біохімічних систем клітин. При цьому слід розуміти, що іонам металів притаманна досить висока токсичність для дріжджів зокрема і для мікроорганізмів в цілому, що в багатьох випадках накладає певні обмеження на планування процесу біосинтезу, такі як початкова концентрація вихідної сполуки та кінцева концентрація наночастинок, яка не є токсичною для клітин.

Так, наприклад, відомо про токсичну дію наночастинок комплексу міді та мікрокристалічної целюлози (Cu-CMC-NPs) на дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*. Внутрішньоклітинний рівень окисного стресу вимірювали флуоресценцією ди-хлорофлуоресціну діацетату. Обробка дріжджів Cu-CMC-NPs у концентрації 157 μM впродовж 90 хв призводила до збільшення внутрішньоклітинного окисного стресу, з інтенсивністю флуоресценції 11,35, що еквівалентно обробці 489 μM розчином пероксиду водню. При обробці дріжджів 400 μM CuSO_4 рівень окисного стресу був майже вдвічі нижчим — інтенсивність флуоресценції склала 5,26, що

дуже близько до результату необроблених клітин — 5,5. Дослідники також встановили, що наночастинки Cu-СМС-NPs призводили до окиснення ліпідів з утворенням пероксидів у клітинах дріжджів. Слід відмітити, що наслідком окиснення ліпідів у клітинах є перш за все порушення цілісності клітинної мембрани (Wians, Matthew, & Gallagher, 2020).

В іншому дослідженні наводяться дані щодо токсичності наночастинок оксидів цирконію, титану, заліза та марганцю. За результатами експерименту дослідники встановили наявність високої токсичної дії наночастинок оксиду марганцю (III), хоча не виявили значної токсичності інших наночастинок — діоксиду титану, оксиду цирконію та оксиду заліза. У результаті токсичної дії наночастинок спостерігалось порушення цілісності клітинної мембрани, однак автори не пояснюють механізм її руйнування (Otero-Gonzalez, García-Saucedo, Field, & Sierra-Alvarez, 2013).

Традиційні методи синтезу наночастинок, зокрема 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 досліджуються способи біосинтезу наночастинок з використанням різних біологічних об'єктів, зокрема дріжджів роду *Saccharomyces* (Ammar et al., 2021; Asghari-Paskiabi et al., 2019; Kthiri et al., 2021; Mulyani et al., 2021; Ranjani et al., 2022; Zamani et al., 2020). Сьогодні активно досліджуються наночастинки благородних металів (золото, срібло, платина, паладій) завдяки своїм унікальним фізико-хімічним і біологічним властивостям. Їх використовують у різних галузях. Так, у харчовій промисловості наночастинки благородних металів можна використовувати в пакувальних матеріалах для запобігання розвитку патогенних мікроорганізмів у продуктах харчування. Також наночастинки металів можна використовувати для знезараження води. Є дослідження щодо їх застосування в сільському господарстві як протигрибкових та антибактеріальних засобів, пестицидів, засобів для біоремедіації ґрунтів. Наночастинки благородних металів можна використовувати в медицині як антибактеріальні, антигрибкові, антивірусні та антипухлинні сполуки. Також досліджуються можливості їх використання для діагностики різних захворювань (Koul, Poonia, Yadav, & Jin, 2021).

Нині ведуться дослідження біосинтезу наночастинок благородних металів з використанням сахароміцетів (табл. 1). Так, синтез наночастинок платини (PtNPs) було реалізовано з використанням біомаси *Saccharomyces boulardii*. Визначено оптимальні параметри процесу біосинтезу: за поглинанням в УФ-спектрі найбільш продуктивним був синтез із найвищою концентрацією біомаси 500 мг/мл, при температурі 35 °С, значенні рН 7 та концентрації 0,5 М гексахлороплатинату (IV) водню (H_2PtCl_6). Синтез наночастинок при цьому відбувався внутрішньоклітинно. Дослідники не надають власних пояснень механізму біосинтезу наночастинок, однак на основі даних інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є (FTIR-аналіз) відмічають, що дріжджові білки можуть зв'язуватися з наночастинкам і таким чином стабілізувати їх (Borse, Kaler, & Banerjee, 2015).

Є дані про біосинтез наночастинок срібла (AgNPs) з використанням біомаси *Saccharomyces cerevisiae* (табл. 1). Так, Zahran зі співоратор. провели дослідження біосинтезу AgNPs клітинами дріжджів. Дослідники звертають увагу на зв'язок

наночастинок з дріжджовими білками, які виділяються в культуральну рідину і відновлюють іони срібла в лужному середовищі (Zahran, Mohamed, Mohamed, & El-Rafie, 2013).

Таблиця 1. Дріжджі роду Saccharomyces для біосинтезу наночастинок благородних металів

Сахароміцети	Умови культивування дріжджів (джерело вуглецю та азоту; параметри процесу)	Параметри біосинтезу наночастинок	Характеристика наночастинок	Джерело
Наночастинки платини				
<i>Saccharomyces boulardii</i>	Глюкоза, пептон, дріжджовий екстракт, 35 °С, 36 год, 200 об/хв	Біомаса, 0,5 мМ H ₂ PtCl ₆ ×H ₂ O 35 °С, 200 об/хв, 72 год A. Reaction of Chloroplatinic Acid with Whole Cells. The strain of <i>S. boulardii</i> was inoculated in 20	Сферичні, 90 нм	Borse, Kaler, & Banerjee, 2015
		Безклітинний екстракт, 0,5 мМ H ₂ PtCl ₆ ×H ₂ O, 35°С, 200 об/хв, 72 год		
Наночастинки паладію				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	*	Біомаса, 1 мМ Pd(CH ₃ COO) ₂ , кімнатна температура, статичні умови, 24 год	Сферичні, трикутні, шестикутні; середній розмір — 32 нм	Sriramulu, & Sumathi, 2018
Наночастинки золота				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> NBRC 2044	Глюкоза, пептон, дріжджовий екстракт, 33 °С, рН 7, 24 год, анаеробні умови	Біомаса, 1,25 мМ HAuCl ₄ , рН 7, анаеробні умови	Сферичні, 10—20 нм	Saitoh et al., 2018
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> KCCM: 11293	Дріжджовий екстракт, екстракт солоду, декстроза, пептон, 30 °С, 24 год, 200 об/хв	Супернатант, 1 мМ HAuCl ₄ , 30 °С, 24 год	Сферичні, 20—100 нм	Lim, Mishra, & Yun, 2011
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Сахароза, 35 °С, 48 год	Безклітинний екстракт, 2,5 мМ HAuCl ₄ , 35°С, 5 год	Трикутні, шестикутні	Yang et al., 2017
Наночастинки срібла				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Сахароза, нітрат натрію, 30 °С, 150 об/хв, 72—96 год	Біомаса, рН 12, 0,1 М AgNO ₃ , 24 год	Сферичні, 1,5—20 нм	Zahran, Mohamed, Mohamed, & El-Rafie, 2013
		Супернатант, 0,1 М AgNO ₃ , 35 °С, 24 год		

<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 37 °С, 24 год, 200 об/хв, рН 7	Біомаса на фосфатному буфері з додаванням глюкози, 1 мМ AgNO ₃ , рН 7, 80 об/хв, 25 °С, 72 год	Сферичні, 2—20 нм	Korbekandi, Mohseni, Mardani Jouneghani, Pourhossein, & Iravani, 2016
<i>Saccharomyces boulardii</i>	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 37 °С, 24 год, 200 об/хв, рН 7	Біомаса на фосфатному буфері з додаванням глюкози, 1 мМ AgNO ₃ , рН 7, 80 об/хв, 25 °С, 72 год	Сферичні, 8—26 нм	Korbekandi, Jouneghani, Mohseni, Pourhossein, & Iravani, 2014
<i>Saccharomyces</i> sp. BDU-XR1	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 30 °С, 48 год	Біомаса, 0,01 мМ AgNO ₃ , 30 °С, 13 діб	Сферичні, 8—17 нм	Jafarov, Ramazanov, Agamaliyev, & Eyvazova, 2017
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> PTCC 5052	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 30 °С, 9—10 год	Культуральна рідина, 2 мМ AgNO ₃ , рН 7, 150 об/хв, 25 °С, 24 год	Сферичні, 5—20 нм	Niknejad, Nabili, Ghazvini, & Moazeni, 2015
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> KCCM: 11293	Дріжджовий екстракт, екстракт солоду, декстроза, пептон, 30 °С, 24 год, 200 об/хв	Супернатант, 1 мМ AgNO ₃ , 30 °С, 48 год	Сферичні, 5—20 нм	Lim, Mishra, & Yun, 2011
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Дріжджовий екстракт, триптон, 30 °С, рН 5.6, 9—10 год, 100 об/хв	Супернатант, 1 мМ AgNO ₃ , 24 год, рН 4—6	Гексагональні, 60—110 нм; сферичні, 10—40 нм	Badhusha, & Mohideen, 2016
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> BY4741	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт	Супернатант, 1 мМ AgNO ₃ , кімнатна температура, 24 год	Сферичні, 2—12 нм	Kthiri et al., 2021
<i>Saccharomyces uvarum</i> HA-NY3	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 30 °С, 48 год	Супернатант, 2 мМ AgNO ₃ , 150 об/хв, 30 °С, 72 год	Круглі та кубічні, 12,4 нм	Ammar, El Aty, & El Awdan, 2021
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Глюкоза, 30 °С, 200 об/хв, 2 год	Супернатант, 1,25 мМ AgNO ₃ , 24—48 год, 30 °С, рН 8—10	Сферичні, до 25 нм	He, Li, Gao, & Yang, 2013
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> M 437	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 30 °С, 24 год	Супернатант, 1 мМ AgNO ₃ , 45 °С, 72 год Безклітинний екстракт, 1 мМ AgNO ₃ , 45 °С, 72 год	Сферичні	Skrotska, Kharchenko, Laziuka, Marynin, & Kharchuk, 2021

<i>Saccharomyces boulardii</i>	Дріжджовий екстракт, декстроза, пептон, 35 °С, 24+48 год, 200 об/хв, рН 6,5	Безклітинний екстракт, 1 мМ AgNO ₃ , 35 °С, 72 год, 200 об/хв	Сферичні, 3–10 нм	Kaler, Jain, & Banerjee, 2013
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	*	Дріжджовий екстракт, 25 мМ AgNO ₃	Сферичні, 10–60 нм	Sowbarnika, Anhuradha, & Preetha, 2018
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ATCC-204661	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 25 °С, 72 год	Дріжджовий β-глюкан, 0,01 М AgNO ₃ , 150 об/хв, 90 °С, 350 хв	Сферичні, 2,5–9 нм	Elnagar, Tayel, Elguindy, Al-saggaf, & Moussa, 2021
Наночастинки хлориду срібла				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	*	Дріжджовий екстракт, 1 мМ AgNO ₃ , кімнатна температура	Сферичні, 9–51 нм	Sivaraj, Kumar, Sunder, Parthasarathy, & Kasivelu, 2020

Примітка: * — автори не здійснювали культивування, використовували комерційні препарати дріжджів.

У праці іншої групи дослідників (Korbekandi, Mohseni, Mardani Jouneghani, Pourhossein, & Iravani, 2016) встановлено внутрішньоклітинний біосинтез наночастинок срібла при використанні *Saccharomyces cerevisiae*. При цьому AgNPs переважно були локалізовані в клітинній мембрані і, на думку вчених, виходили з клітин назовні шляхом екзоцитозу. Для синтезу наночастинок срібла як донор електронів вчені використали глюкозу в реакційному середовищі при рН 7. За результатами методу динамічного розсіювання світла (DLS-аналіз) автори встановили, що з часом відбувалась агрегація наночастинок. Ця сама група вчених (Korbekandi, Jouneghani, Mohseni, Pourhossein, & Iravani, 2014) проводила дослідження біосинтезу наночастинок срібла з використанням біомаси *Saccharomyces boulardii*, використовуючи таку саму схему синтезу, як і в роботі з *Saccharomyces cerevisiae* (табл. 1). При цьому наночастинки синтезувались як всередині клітин, так і в позаклітинному середовищі. Вчені припускають, що клітини дріжджів поглинають іони срібла і відновлюють їх за допомогою ферментів, зокрема, редуктазу у цитоплазмі.

Проведені дослідження, пов'язані з біосинтезом наночастинок паладію (PdNPs) за допомогою біомаси дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* (табл. 1). Біосинтезовані наночастинки паладію з графентричною кубічною структурою кристалічної решітки характеризувались фотокаталітичною активністю. При їх внесенні у розчин барвника прямого синього 71 спостерігали руйнування останнього на 98%. Дослідники не визначали локалізацію наночастинок у біомасі, однак встановили наявність характерних піків ІЧ-спектра (FTIR-аналіз), що відповідають функціональним групам біогенних молекул, таких як білки, амінокислоти, вуглеводи,

полісахариди. Це дає змогу припустити, що певні біогенні молекули беруть участь у біосинтезі наночастинок паладію (Sriramulu, & Sumathi, 2018).

Крім використання дріжджів роду *Saccharomyces* для біосинтезу наночастинок благородних металів, ведуться дослідження щодо можливості їх застосування для отримання інших наночастинок (табл. 2). Зокрема реалізований внутрішньоклітинний біосинтез наночастинок селену (SeNPs) за допомогою *Saccharomyces cerevisiae*. Дослідниками було встановлено наявність антиоксидантних властивостей у синтезованих наночастинок проти радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрилгідрозилу (Faramarzi, Anzabi, & Jafarizadeh-Malmiri, 2020). В іншому дослідженні біосинтезу SeNPs з використанням біомаси *Saccharomyces cerevisiae* показано, що біосинтез наночастинок відбувається швидше в анаеробних умовах, ніж в аеробних. Встановлено наявність білкової оболонки на поверхні SeNPs, що може вказувати на безпосередню участь дріжджових білків в утворенні та стабілізації наночастинок (Zhang, Li, & Gao, 2012).

Таблиця 2. Біосинтез наночастинок з використанням дріжджів роду *Saccharomyces*

Сахароміцети	Умови культивування дріжджів (джерело вуглецю та азоту; параметри процесу)	Параметри біосинтезу наночастинок	Характеристика наночастинок	Джерело
Наночастинки селену				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Декстроза, пептон, гідролізат казеїну	Біомаса, 5, 10, 15, 20, та 25 мкг Na ₂ SeO ₃ , 32 °С, 4 доби, 120 об/хв	75—709 нм	Faramarzi, Anzabi, & Jafarizadeh-Malmiri, 2020
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 30 °С, 12 год, 120 об/хв.	Біомаса, 0,5 мМ Na ₂ SeO ₃ , 30 °С, 36 год, 120 об/хв	Сферичні, 100 нм	Zhang, Li, & Gao, 2012
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> МТСС 36	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, екстракт солону, 30 °С, 24 год, 200 об/хв.	Біомаса, 2 мМ Na ₂ SeO ₃ , 30 °С, 24 год, 200 об/хв.	30—100 нм	Hariharan, Al-Harbi, Karupiah, & Rajaram, 2012
Наночастинки заліза				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	*	Дріжджовий екстракт, 1 мМ FeCl ₃	Середній розмір — 5 нм	Mehrotra, Tripathi, Zafar, & Singh, 2017
Наночастинки кадмію-селену				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Триптон, дріжджовий екстракт, глюкоза, 30 °С, 24 год, 600 об/хв	Біомаса, 4 мМ Na ₂ SeO ₃ , 1,3 мМ CdCl ₂ , 20 год	7±2 нм	Sur et al., 2019
Наночастинки карбонату барію				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	*	Біомаса, 0,855 г BaCl ₂ ×2H ₂ O в 400 мл, 30 °С 150 об/хв, 24 год	4,26 нм	Chang et al., 2021

Примітка: * — автори не здійснювали культивування, використовували комерційні препарати дріжджів.

Проводилось дослідження внутрішньоклітинного біосинтезу біметалічних наночастинок кадмію з селеном (CdSeNPs) з використанням біомаси дріжджів (табл. 2). Дослідники показали, що продуктивність процесу залежить від концентрації триптон у поживному середовищі для культивування *Saccharomyces cerevisiae*: біосинтез проводили при концентраціях триптон 22,5, 25, 27,5 і 30 г/л. Найбільшу продуктивність синтезу наночастинок спостерігали при концентрації триптон 25 г/л. Дослідники припускають, що негативно заряджені амінокислоти в складі триптон виступають центрами ініціації синтезу CdSeNPs, притягуючи позитивно заряджені іони кадмію. При цьому більш високі концентрації триптон можуть пригнічувати метаболічні шляхи, які залучені у синтез наночастинок. Також автори стверджують, що важливу роль у біосинтезі CdSeNPs може відігравати трипептид глутатіон, оскільки при делеції генів GSH1 та GSH2, які кодують γ -глутамілцистеїнілазу та глутатіонсинтазу відповідно, синтез CdSeNPs суттєво пригнічувався (Sur et al., 2019).

Chang зі співавтор. показали можливість внутрішньоклітинного синтезу наночастинок карбонату барію при використанні *Saccharomyces cerevisiae*. Дослідники зазначають, що іони барію здатні потрапляти всередину живих клітин, де вступають в реакцію з розчиненим вуглекислим газом з подальшим утворенням наночастинок. При цьому внутрішньоклітинні ферменти дигідроліпоїлдегідрогеназа, алкогольдегідрогеназа I типу та енолаза беруть безпосередню участь у формуванні наночастинок (Chang et al., 2021).

Також науковці досліджують роль клітин дріжджів у біосинтезі наночастинок оксидів металів (табл. 3). Досліджуючи біосинтез наночастинок оксиду сурми з гранецентричною кубічною решіткою, автори висувають гіпотезу про те, що у формуванні наночастинок у клітинах *Saccharomyces cerevisiae* беруть участь мембранозв'язані оксидоредуктази, які проявляють оксидазну активність в кислому рН, тоді як мембранозв'язані хінони прискорюють реакцію через власну таутомерію, забезпечуючи утворення молекулярного кисню (Jha, Prasad, & Prasad, 2009). Таке саме пояснення висувається щодо синтезу наночастинок бінарних халькогенідів, зокрема сульфід кадмію (Prasad, & Jha, 2010). Біомасу *Saccharomyces cerevisiae* можна використовувати і для біосинтезу наночастинок оксиду заліза (табл. 3). При цьому Ranjani зі співавтор. показали роль аміних та альдегідних груп дріжджових сполук у відновленні іонів заліза та формуванні наночастинок, а також дослідили їх антимікробну активність як проти грамположитивних, так і грамнегативних бактерій (Ranjani et al., 2022).

Таблиця 3. Застосування сахароміцетів для біосинтезу наночастинок оксидів металів

Сахароміцети	Умови культивування дріжджів (джерело вуглецю та азоту; параметри процесу)	Параметри біосинтезу наночастинок	Характеристика наночастинок	Джерело
Наночастинки оксиду срібла				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> A12	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, кімнатна температура, 24 год, 180 об/хв	Супернатант, 0,1 М AgNO ₃ , 180 об/хв, 24 год	9—85 нм	Eddy, Rahayu, Fauzia, & Ishmayana, 2021

Наночастинки діоксиду кремнію				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> PTCC 5269	М'ясний екстракт, пептон, 30 °С, 4 доби	Культуральна рідина, 0,1, 0,2, 0,5 М Na ₂ SiO ₃	Переважаю сферичні, 40—70 нм	Zamani, Jafari, Mousavi, & Darezereshki, 2020
Наночастинки діоксиду титану				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> MTCC 463	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 24 год	Супернатант, розведений чотирикратно 30% розчином етилового спирту, розчин TiO ₂ , 60 °С, 10—20 хв	Гексагональні, 100 нм	Hallis Nisar, & Kanimozhi, 2016
Наночастинки оксиду цинку				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> A18	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, амонію сульфат, 24 год	Супернатант, 0,3М Zn(CH ₃ COO) ₂ кімнатна температура, 180 об/хв	Сферичні, 32 нм	Mulyani, Permana, Ishmayana, Rahayu, & Eddy, 2021
<i>Saccharomyces boulardii</i>	Декстроза, пептон, гідролізат казеїну, 37 °С, 24 год	Супернатант, 1 мМ Zn(CH ₃ COO) ₂	Сферичні, 24 нм	Mohamed, & Kadium, 2022
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 48 год, 30 °С	Супернатант, 0,01—0,1 мМ Zn(CH ₃ COO) ₂ , 30 °С, 24 год	Сферичні, 20—30 нм	Motazedi, Rahaiee, & Zare, 2020
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	*	Екстракт хлібопекарських дріжджів, 2мМ Zn(CH ₃ COO) ₂ , 50 °С, 12 год	Сферичні, 13—20 нм	El-Khawaga et al., 2023
Наночастинки оксиду сурми				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Не вказано	Біомаса, 0,025М SbCl ₃ , 60 °С, 10—20 хв	Сферичні, 2—10 нм	Jha, Prasad, & Prasad, 2009
Наночастинки оксиду марганцю				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ATCC 24858	Солодовий екстракт, глюкоза, дріжджовий екстракт, пептон, 25 °С, 96 год, 160 об/хв	Супернатант або дріжджовий екстракт, 1мМ KMnO ₄ , 10 хв	Гексагональні, сферичні, 34,4 нм	Salunke, Sawant, Lee, & Kim, 2015
Наночастинки оксиду заліза				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Картопляно-декстрозний агар, 30 °С, 72 год	Біомаса, 100 мМ FeSO ₄ ×7H ₂ O, 1мМ FeCl ₃ , 30 °С, 120 об/хв, 48—72 год	Сферичні, 155,7 нм	Ranjani et al., 2022

Примітка: * — автори не здійснювали культивування, використовували комерційні препарати дріжджів.

Реалізовано біосинтез наночастинок сульфідів цинку (ZnS-NPs) з використанням клітин *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 2918 (табл. 4). Дослідники підтвердили внутрішньоклітинний синтез наночастинок з гранецентричною кубічною кристалічною решіткою. При цьому відмічено, що перед біосинтезом було перевірено токсичну дію на дріжджові клітини попередника — сульфату цинку у

концентраціях до 10 мМ. Сульфат цинку виявився нетоксичним для дріжджових клітин, що було пояснено важливою роллю іонів цинку в клітинах дріжджів. Максимальної швидкості біосинтезу наночастинок вдалося досягти при концентрації 0,5 мМ сульфату цинку і концентрації дріжджової біомаси 1%. Дослідники також відмітили, що найбільша швидкість синтезу наночастинок досягається в культурі на етапі експоненційного росту. Кінцева концентрація наночастинок сульфід цинку в культуральній рідині склала 1,86 мМ (Mala, & Rose, 2014).

При дослідженні внутрішньоклітинного біосинтезу наночастинок сульфід селену (SeS-NPs) з використанням дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* PTCC 5052 (табл. 4) показано їх протигрибову активність щодо *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Alternaria alternata*, *Trichophyton rubrum*, *Microsporum canis* та *Candida krusei*: мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) наночастинок становила 1,25 мг/мл (Asghari-Paskiabi, Imani, Rafii-Tabar, & Razzaghi-Abyaneh, 2019).

Таблиця 4. Біосинтез наночастинок бінарних халькогенідів з використанням *Saccharomyces cerevisiae*

Сахароміцети	Умови культивування дріжджів (джерело вуглецю та азоту; параметри процесу)	Параметри біосинтезу наночастинок	Характеристика наночастинок	Джерело
Наночастинки сульфід селену				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> PTCC 5052	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 24 год	Біомаса, 1 мМ Na ₂ O ₃ SSe, 35 °С, 180 об/хв, 18 год	Сферичні, 5—7 нм	Asghari-Paskiabi, Imani, Rafii-Tabar, & Razzaghi-Abyaneh, 2019
Наночастинки сульфід цинку				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> MTCC 2918	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, 48 год, 25 °С, 180 об/хв	Біомаса (1%), 1 мМ ZnSO ₄ , 25 °С, 180 об/хв	Сферичні, 30—40 нм	Mala, & Rose, 2014
Наночастинки сульфід кадмію				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	36 год з відповідним джерелом вуглецю та азоту, 24 год після розведення у 4 рази 30% етанолом	Культуральна рідина, 0,25 М CdCl ₂ , водний розчин сірководню, 60 °С, 10-20 хв	Сферичні, 3,57 нм	Prasad, & Jha, 2010

Примітка: * — автори не здійснювали культивування, використовували комерційні препарати дріжджів.

Використання культуральної рідини. Проводилося дослідження з біосинтезу наночастинок діоксиду кремнію при використанні культуральної рідини *Saccharomyces cerevisiae* PTCC 5269 (табл. 3). Біосинтезовані наночастинки ефективно змінювали реологічні властивості нафти, що може успішно застосовуватись у нафтовидобуванні і нафтопереробці (Zamani, Jafari, Mousavi, & Darezereshki,

2020). Існує дослідження біосинтезу наночастинок срібла при використанні культуральної рідини дріжджів роду *Saccharomyces*. Дослідники визначали проти-грибкову активність біосинтезованих наночастинок на моделі резистентного до флуконазолу штаму дріжджів *Candida albicans* ATCC 10261. Штам ATCC 10261 виявився чутливим до дії AgNPs у концентрації 2-4 мкг/мл (Niknejad, Nabili, Ghazvini, & Moazeni, 2015).

Біоактивні компоненти супернатанту для біосинтезу наночастинок. Серед досліджень з біосинтезу наночастинок металів поширений спосіб із використанням дріжджового супернатанту. Використання супернатанту має перевагу перед біосинтезом з використанням біомаси, що полягає у простоті виділення біогенних наночастинок.

В одній із праць супернатант *Saccharomyces cerevisiae* КССМ: 11293 використовують для синтезу наночастинок срібла й золота (табл. 1) при різних значеннях рН. Оптимальні значення рН для синтезу наночастинок золота (AuNPs) склали від 4 до 6, а для срібла — від 6 до 10. При цьому дослідники не ставили завдання встановити механізми біосинтезу наночастинок (Lim, Mishra, & Yun, 2011).

В іншій праці дослідники одержували наночастинок срібла різними способами, серед яких синтез з використанням супернатанту *Saccharomyces cerevisiae*. Супернатант готували розведенням виділеної й промитої біомаси дріжджів у дистильованій воді при рН 12 і подальшим центрифугуванням. Вчені відмічають, що синтез AgNPs з використанням супернатанту виявився менш продуктивним за кінцевою концентрацією наночастинок, ніж синтез із використанням біомаси дріжджів (Zahran, Mohamed, Mohamed, & El-Rafie, 2013).

Існує інший приклад синтезу наночастинок срібла з використанням супернатанту *Saccharomyces cerevisiae*, які були виділені з виноградного соку. Дослідники проводили синтез AgNPs при різних значеннях рН — від 4 до 6. Було встановлено, що наночастинок срібла проявляють антибактеріальні властивості проти *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus*, при цьому наночастинок синтезовані при рН 6 пригнічують ріст мікроорганізмів краще, ніж ті, що були синтезовані при рН 4. За результатами FTIR-аналізу дослідники припускають, що відновлення срібла відбувається за участі білків, посиляючись на наявність характерних піків інфрачервоного спектра, що відповідають зв'язкам NH-, C-N, O-H, C-S аміних, гідроксильних і карбоксильних груп (Badhusha & Mohideen, 2016).

Ще один приклад роботи з вивчення біогенних наночастинок срібла, що були одержані з використанням супернатанту *Saccharomyces cerevisiae* BY4741 (табл. 1), включає в себе дослідження біосинтезу AgNPs в постійному магнітному полі. За результатами експерименту наночастинок, одержані в постійному штучному магнітному полі 250 мТл, мали менші розміри (2—12 нм), ніж ті, що були синтезовані без таких умов, тобто в земному магнітному полі (11—25 нм при 0,075 мТл). Дослідники вважають, що відновлення іонів срібла відбувається в основному за рахунок дріжджових метаболітів, однак детальне вивчення не проводилося. Також проводилось дослідження антимікробних властивостей біогенних AgNPs. Мінімальна інгібуюча активність і мінімальна бактерицидна активність проти *Escherichia coli* склали 25 мкг/мл та 70 мкг/мл відповідно. Проти *Staphylococcus aureus* ці значення склали 15 мкг/мл та 50 мкг/мл відповідно (Kthiri et al., 2021).

Показана можливість біосинтезу наночастинок діоксиду титану (TiO_2NPs) з використанням супернатанту *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 463 (табл. 3). Дослідники вивчали антимікробну активність синтезованих наночастинок при використанні різних бактерій і грибів. Антибактеріальна активність була виявлена на моделях грам-позитивних і грам-негативних бактерій при концентраціях наночастинок від 80 до 140 мкг/мл. Протигрибкова активність була виражена значно менше: для родів *Aspergillus* та *Mucor* майже нульова, хоча для роду *Rhizopus* та дріжджів була на рівні еквівалентному антибактеріальній. Також дослідники перевіряли фотокаталітичну активність на органічних барвниках: у білому світлі спостерігали деградацію на рівні 24%, тоді як в УФ-світлі — на рівні 38% (Hallis Nisar, & Kanimozhi, 2016).

У праці, присвяченій оптимізації біосинтезу наночастинок оксиду цинку (ZnONPs), одержано наночастинок гексагональної кристалічної структури з використанням супернатанту *Saccharomyces cerevisiae* A18 (табл. 3) і пояснено механізм біосинтезу реакцією між іонами цинку та гідроксильними групами амінокислот, а також активністю ферментів редуктаз, які синтезуються клітинами дріжджів. При цьому дослідники використовують експериментальні плани Бокса-Бенкена з трьома незалежними змінними: концентрація цинку ацетату, концентрація супернатанту та час інкубування. Завдяки такому плануванню експерименту дослідникам вдалося підібрати найбільш оптимальні параметри біосинтезу ZnONPs: 0,3 М ацетату цинку, 72 години, супернатант без розведення (Mulyani, Permiana, Ishmayana, Rahayu, & Eddy, 2021).

Наночастинок оксиду цинку також володіють антимікробними властивостями. Так, Mohamed і Kadium одержали ZnONPs з використанням супернатанту дріжджів *Saccharomyces boulardii* (табл. 3). Антимікробна активність біогених наночастинок оксиду цинку в концентрації 200 мкг/мл була підтверджена проти *Proteus mirabilis* та *Pseudomonas aeruginosa*. Наявну антибактеріальну активність дослідники пояснюють властивістю наночастинок цинку оксиду сприяти утворенню активних форм кисню, які ушкоджують клітинну мембрану бактерій, що призводить до порушення її структурної та бар'єрної функцій. Також було досліджено антибіоплівковий ефект наночастинок оксиду цинку: на прикладі *Proteus mirabilis* та *Staphylococcus aureus* показано, що наночастинок в концентрації 64 мкг/мл пригнічували утворення біоплівки на 50%, а при збільшенні концентрації наночастинок до 1024 мкг/мл — на 97%. Цікавими є результати дослідження антиоксидантних властивостей наночастинок цинку оксиду: в концентрації 1 мг/мл наночастинок нейтралізували більше 73% радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразу. Механізм біосинтезу наночастинок дослідники пояснюють наявністю в супернатанті ферментів редуктаз (Mohamed, & Kadium, 2022).

Також вивчали вплив параметрів біосинтезу ZnONPs з використанням супернатанту *Saccharomyces cerevisiae* (Перська колекція типових культур): відношення об'ємів розчину цинку ацетату та супернатанту від 1,5:1 до 6:1, концентрації цинку ацетату від 0,01 до 0,1 мМ та значення рН від 5 до 12. Найвища концентрація наночастинок спостерігалася при відношенні об'ємів розчину цинку ацетату до супернатанту 3:1 у найбільш лужному середовищі із значенням рН 12 та при найвищій концентрації вихідної солі 0,1 мМ. Дослідники вивчали антибактеріальні властивості синтезованих наночастинок оксиду цинку методом дисків.

Було виявлено, що у концентрації 200 мкг/диск наночастинки призводять до такої ж самої зони інгібування *Staphylococcus aureus*, як і ципрофлоксацин при концентрації 5 мкг/диск. Протиракова активність наночастинок оксиду цинку щодо клітин MCF-7 (аденокарцинома молочної залози); виражалася в значному зниженні числа життєздатних клітин: до 40% живих клітин після обробки 25 мкг/мл ZnONPs і до 10% життєздатних клітин після обробки 100 мкг/мл ZnONPs (Motazed, Rahaiee, & Zare, 2020).

Біосинтез наночастинок у безклітинному водному екстракті дріжджів.

Існує дослідження антимикобактеріальної активності наночастинок хлориду срібла (AgCINPs), що були синтезовані при використанні безклітинного водного екстракту дріжджів проти *Mycobacterium tuberculosis* та *Mycobacterium smegmatis*. Синтезовані AgCINPs аналізували за допомогою FTIR-аналізу: за результатами вивчення в зразках наночастинок зафіксовані зміщення піку первинних амінів, що, на думку дослідників, свідчить про залучення цієї функціональної групи до синтезу наночастинок. (Sivaraj, Kumar, Sunder, Parthasarathy, & Kasivelu, 2020).

Безклітинний екстракт *Saccharomyces cerevisiae* використовували для біосинтезу наночастинок золота (табл. 1). Дослідники вивчали вплив рН середовища синтезу на властивості AuNPs: встановлено, що при підвищенні рН зменшуються розміри наночастинок і збільшується частка трикутних наночастинок серед інших форм (Yang et al., 2017).

Проводилось вивчення біосинтезу наночастинок срібла з використанням безклітинного екстракту *Saccharomyces cerevisiae* (табл. 1). Вчені визначали оптимальні параметри процесу: етап росту та концентрація біомаси на момент одержання безклітинного екстракту, температура, рН та тривалість процесу. Екстракт, що був одержаний із клітин, що знаходились на початковій стадії стаціонарної фази росту, забезпечив найвищу ефективність синтезу AgNPs відносно інших зразків безклітинного екстракту, що були отримані з клітин в інших фазах росту. При збільшенні концентрації срібла від 1 до 5 мМ не спостерігалось суттєве збільшення концентрації наночастинок, що може бути пояснено токсичністю іонів срібла при концентраціях вище за 1 мМ. При температурах синтезу вищих за 40 °C спостерігалось зменшення концентрації AgNPs, що пояснюється денатурацією білків, які беруть участь у синтезі та стабілізації наночастинок. Концентрація синтезованих наночастинок срібла також збільшувалась при зміні рН у лужну сторону, але при цьому спостерігалась значна агрегація наночастинок. Синтезовані AgNPs володіють протираковою активністю: у концентраціях від 10 до 100 мкг/мл AgNPs інгібуюча активність проти клітин MCF-7 склала близько 80%, в той час як для солей срібла цей показник склав менше 40%. Значення IC₅₀ для наночастинок срібла становило 10 мкг/мл (Kaler, Jain, & Banerjee, 2013).

Висновки

Наукові публікації, в яких висвітлено результати дослідження біосинтезу наночастинок з використанням дріжджів роду *Saccharomyces* демонструють принципову можливість синтезу як моно-, так і бінарних нанорозмірних частинок. Більшість праць мають прикладне спрямування і ставлять за мету вивчити корисні властивості та потенційне використання наночастинок у багатьох галузях діяльності людини: медицині, промисловості, технологіях тощо. При цьому досить

мало досліджень, у яких вивчається оптимізація процесу біосинтезу наночастинок та механізми їх утворення. Найбільш поширеним поясненням механізму біосинтезу наночастинок з використанням дріжджів є активність ферментів редуказ і формування центрів росту наночастинок на заряджених групах амінокислот у складі білків. Слід відмітити, що серед наукових публікацій практично відсутні дослідження щодо біосинтезу наночастинок міді при використанні дріжджових клітин, хоча є дані щодо їх біосинтезу за допомогою рослин, бактерій і грибів як при використанні водних екстрактів, так і біомаси, культуральної рідини та супернатанту. Тому біосинтез наночастинок міді за допомогою дріжджів, зокрема сахароміцетів, є перспективним напрямком наукових досліджень.

Література

- Ammar, H. A., El Aty, A. A. A., & El Awdan, S. A. (2021). Extracellular myco-synthesis of nano-silver using the fermentable yeasts *Pichia kudriavzevii* HA-NY2 and *Saccharomyces uvarum* HA-NY3, and their effective biomedical applications. *Bioprocess and biosystems engineering*, 44, 841—854. doi: 10.1007/s00449-020-02494-3.
- Arul, S. S., Balakrishnan, B., Handanahal, S. S., & Venkataraman, S. (2024). Viral nanoparticles: Current advances in design and development. *Biochimie*, 219, 33—50. doi: 10.1016/j.biochi.2023.08.006.
- Asghari-Paskiabi, F., Imani, M., Rafii-Tabar, H., & Razzaghi-Abyaneh, M. (2019). Physico-chemical properties, antifungal activity and cytotoxicity of selenium sulfide nanoparticles green synthesized by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 516(4), 1078—1084. doi: 10.1016/j.bbrc.2019.07.007.
- Badhusha, M. S. M., & Mohideen, M. M. A. K. (2016). Biosynthesis of silver nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae* with different pH and study of antimicrobial activity against bacterial pathogens. *Chemical Science Transactions*, 5(4), 906—911. doi: 10.7598/cst2016.1275.
- Bhat, A., Budholiya, S., Aravind Raj, S., Sultan, M. T. H., Hui, D., Md Shah, A. U., & Safri, S. N. A. (2021). Review on nanocomposites based on aerospace applications. *Nanotechnology Reviews*, 10(1), 237—253. doi: 10.1515/ntrev-2021-0018.
- 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(2). doi: 10.13140/RG.2.1.3132.5283.
- Chang, Y., Chen, S., Liu, T., Liu, P., Guo, Y., Yang, L., & Ma, X. (2021). Yeast cell route: a green and facile strategy for biosynthesis of carbonate nanoparticles. *CrystEngComm*, 23(26), 4674—4679. doi: 10.1039/D1CE00592H.
- Chopra, H., Bibi, S., Singh, I., Hasan, M. M., Khan, M. S., Yousafi, Q., ..., & Cavalu, S. (2022). Green metallic nanoparticles: biosynthesis to applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 874742. doi: 10.3389/fbioe.2022.874742.
- Eddy, D. R., Rahayu, I., Fauzia, R. P., & Ishmayana, S. (2021). Preliminary investigation of baker's yeast for the biosynthesis of metal oxide nanoparticles and evaluation of their antibacterial activity. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 22(1), 37—46.
- El-Khawaga, A. M., Elsayed, M. A., Gobara, M., Suliman, A. A., Hashem, A. H., Zaher, A. A., ..., & Salem, S. S. (2023). Green synthesized ZnO nanoparticles by *Saccharomyces cerevisiae* and their antibacterial activity and photocatalytic degradation. *Biomass Conversion and Biorefinery*. doi:10.1007/s13399-023-04827-0.
- Elnagar, S. E., Tayel, A. A., Elguindy, N. M., Al-saggaf, M. S., & Moussa, S. H. (2021). Innovative biosynthesis of silver nanoparticles using yeast glucan nanopolymer and their potentiality as antibacterial composite. *Journal of Basic Microbiology*, 61(8), 677—685. doi: 10.1002/jobm.202100195.

Faramarzi, S., Anzabi, Y., & Jafarizadeh-Malmiri, H. (2020). Nanobiotechnology approach in intracellular selenium nanoparticle synthesis using *Saccharomyces cerevisiae*-fabrication and characterization. *Archives of microbiology*, 202(5), 1203—1209. doi: 10.1007/s00203-020-01831-0.

Githala, C. K., & Trivedi, R. (2023). Review on synthesis method, biomolecules involved, size affecting factors and potential applications of silver nanoparticles. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 54, 102912. doi: 10.1016/j.cbab.2023.102912.

Hallis Nisar, A., Kanimozhi, S. (2016). Biosynthesis of titanium-dioxide nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 463 and its application in waste water treatment. *International Journal of Development Research*, 6(11), 9959–9967. doi:10.3389/fmich.2023.1270245.

Hariharan, H., Al-Harbi, N., Karuppiyah, P., & Rajaram, S. (2012). Microbial synthesis of selenium nanocomposite using *Saccharomyces cerevisiae* and its antimicrobial activity against pathogens causing nosocomial infection. *Chalcogenide Lett*, 9(12), 509—515.

He, F. J., Li, Z. H., Gao, F., & Yang, Z. (2013). Extracellular Biosynthesis of Ag Nanoparticles by Commercial Baker's Yeast. *Advanced materials research*, 785, 370—373. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.785-786.370.

Jafarov, M. M., Ramazanov, M. A., Agamaliyev, Z. A., & Eyvazova, G. M. (2017). Biosynthesis of silver nanoparticles using *Saccharomyces* sp. strain BDU–XR1. *Environment*, 4(6), 11—13. doi:10.19221/201712.

Jha, A. K., Prasad, K., & Prasad, K. (2009). A green low-cost biosynthesis of Sb₂O₃ nanoparticles. *Biochemical engineering journal*, 43(3), 303—306. doi: 10.1016/j.bej.2008.10.016.

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.

Kaler, A., Jain, S., & Banerjee, U. C. (2013). Green and rapid synthesis of anticancerous silver nanoparticles by *Saccharomyces boulardii* and insight into mechanism of nanoparticle synthesis. *BioMed research international*, 2013. doi: 10.1155/2013/872940.

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.

Korbekandi, H., Jouneghani, R. M., Mohseni, S., Pourhossein, M., & Iravani, S. (2014). Synthesis of silver nanoparticles using biotransformations by *Saccharomyces boulardii*. *Green Processing and Synthesis*, 3(4), 271—277. doi: 10.1515/gps-2014-0035.

Korbekandi, H., Mohseni, S., Mardani Jouneghani, R., Pourhossein, M., & Iravani, S. (2016). Biosynthesis of silver nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae*. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 44(1), 235—239. doi: 10.3109/21691401.2014.937870.

Kthiri, A., Hamimed, S., Othmani, A., Landoulsi, A., O'Sullivan, S., & Sheehan, D. (2021). Novel static magnetic field effects on green chemistry biosynthesis of silver nanoparticles in *Saccharomyces cerevisiae*. *Scientific Reports*, 11(1), 20078. doi: 10.1038/s41598-021-99487-3.

Kumar, A., Choudhary, A., Kaur, H., Mehta, S., & Husen, A. (2021). Metal-based nanoparticles, sensors, and their multifaceted application in food packaging. *Journal of Nanobiotechnology*, 19(1), 256. doi: 10.1186/s12951-021-00996-0.

Lim, H. A., Mishra, A., & Yun, S. I. (2011). Effect of pH on the extra cellular synthesis of gold and silver nanoparticles by *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 11(1), 518—522. doi: 10.1166/jnn.2011.3266.

Mala, J. G. S., & Rose, C. (2014). Facile production of ZnS quantum dot nanoparticles by *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 2918. *Journal of biotechnology*, 170, 73—78. doi: 10.1016/j.jbiotec.2013.11.017.

Mehrotra, N., Tripathi, R. M., Zafar, F., & Singh, M. P. (2017). Catalytic degradation of dichlorvos using biosynthesized zero valent iron nanoparticles. *IEEE transactions on nanobioscience*, 16(4), 280—286. doi: 10.1109/TNB.2017.2700232.

Mohamed, A. H., & Kadium, S. W. (2022). Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using *Saccharomyces boulardii* and study their biological activities. *Cardiometry*, (25), 41—50. doi: 10.18137/cardiometry.2022.25.4150.

- Motazed, R., Rahaiee, S., & Zare, M. (2020). Efficient biogenesis of ZnO nanoparticles using extracellular extract of *Saccharomyces cerevisiae*: Evaluation of photocatalytic, cytotoxic and other biological activities. *Bioorganic chemistry*, 101, 103998. doi: 10.1016/j.bioorg.2020.103998.
- Mulyani, F., Permana, M. D., Ishmayana, S., Rahayu, I., & Eddy, D. R. (2021). Optimisation of zinc oxide nanoparticle biosynthesis using *Saccharomyces cerevisiae* with Box-Behnken design. *Rev. Chem*, 72, 78—89. doi: 10.37358/RC.21.1.8405.
- Mustapha, T., Misni, N., Ithnin, N. R., Daskum, A. M., & Unyah, N. Z. (2022). A review on plants and microorganisms mediated synthesis of silver nanoparticles, role of plants metabolites and applications. *Int. J. Environ. Health Res.*, 19(2), 674. doi: 10.3390/ijerph19020674.
- Niknejad, F., Nabili, M., Ghazvini, R. D., & Moazeni, M. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles: advantages of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* model. *Current medical mycology*, 1(3), 17. doi: 10.18869/acadpub.cmm.1.3.17.
- Nile, S. H., Baskar, V., Selvaraj, D., Nile, A., Xiao, J., & Kai, G. (2020). Nanotechnologies in food science: applications, recent trends, and future perspectives. *Nano-micro letters*, 12, 45. doi: 10.1007/s40820-020-0383-9.
- Otero-González, L., García-Saucedo, C., Field, J. A., & Sierra-Álvarez, R. (2013). Toxicity of TiO₂, ZrO₂, FeO, Fe₂O₃, and Mn₂O₃ nanoparticles to the yeast, *Saccharomyces cerevisiae*. *Chemosphere*, 93(6), 1201—1206. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.06.075.
- Prasad, K., & Jha, A. K. (2010). Biosynthesis of CdS nanoparticles: an improved green and rapid procedure. *Journal of colloid and interface science*, 342(1), 68—72. doi: 10.1016/j.jcis.2009.10.003.
- Ranjani, V. A., Rani, G. T., Sowjanya, M., Preethi, M., Srinivas, M., & Nikhil, M. (2022). Yeast mediated synthesis of iron oxide nano particles: Its characterization and evaluation of antibacterial activity. *International Research Journal of Pharmacy and Medical Sciences*, 5(5), 12—16.
- Saitoh, N., Fujimori, R., Nakatani, M., Yoshihara, D., Nomura, T., & Konishi, Y. (2018). Microbial recovery of gold from neutral and acidic solutions by the baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Hydrometallurgy*, 181, 29—34. doi: 10.1016/j.hydromet.2018.08.011.
- Salunke, B. K., Sawant, S. S., Lee, S. I., & Kim, B. S. (2015). Comparative study of MnO₂ nanoparticle synthesis by marine bacterium *Saccharophagus degradans* and yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied microbiology and biotechnology*, 99, 5419—5427. doi: 10.1007/s00253-015-6559-4.
- Saravanan, A., Kumar, P. S., Karishma, S., Vo, D.-V. N., Jeevanantham, S., Yaashikaa, P., & George, C. S. (2021). A review on biosynthesis of metal nanoparticles and its environmental applications. *Chemosphere*, 264(2), 128580. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128580.
- Singh, N. A., Narang, J., Garg, D., Jain, V., Payasi, D., Suleman, S., & Swami, R. K. (2023). Nanoparticles Synthesis via Microorganisms and their Prospective Applications in Agriculture. *Plant Nano Biology*, 5, 100047. doi: 10.1016/j.plana.2023.100047.
- Sivaraj, A., Kumar, V., Sunder, R., Parthasarathy, K., & Kasivelu, G. (2020). Commercial yeast extracts mediated green synthesis of silver chloride nanoparticles and their anti-mycobacterial activity. *Journal of Cluster Science*, 31, 287—291. doi: 10.1007/s10876-019-01626-4.
- Skalickova, S., Baron, M., & Sochor, J. (2017). Nanoparticles biosynthesized by yeast: a review of their application. *Kvasny prumysl*, 63(6), 290—292. doi: 10.18832/kp201727.
- 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.
- Sowbarnika, R., Anhuradha, S., & Preetha, B. (2018). Enhanced antimicrobial effect of yeast mediated silver nanoparticles synthesized from baker's yeast. *International Journal of nanoscience and nanotechnology*, 14(1), 33—42.
- Sriramulu, M., & Sumathi, S. (2018). Biosynthesis of palladium nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae* extract and its photocatalytic degradation behaviour. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9(2), 025018. doi: 10.1088/2043-6254/aac506.
- Sur, V. P., Kominkova, M., Buchtova, Z., Dolezelikova, K., Zitka, O., & Moullick, A. (2019). CdSe QD biosynthesis in yeast using tryptone-enriched media and their conjugation with a peptide hecate for bacterial detection and killing. *Nanomaterials*, 9(10), 1463. doi: 10.3390/nano9101463.

Todaria, M., Maity, D., & Awasthi, R. (2024). Biogenic metallic nanoparticles as game-changers in targeted cancer therapy: recent innovations and prospects. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10(1), 25. doi: 10.1186/s43094-024-00601-9.

Winans, M. J., & Gallagher, J. E. (2020). Metallomic and lipidomic analysis of *S. cerevisiae* response to cellulosic copper nanoparticles uncovers drivers of toxicity. *Metallomics*, 12(5), 799—812. doi: 10.1039/d0mt00018c.

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

Zahrán, M. K., Mohamed, A. A., Mohamed, F. M., & El-Rafie, M. H. (2013). Optimization of biological synthesis of silver nanoparticles by some yeast fungi. *Egypt. J. Chem.*, 56(1), 91—110.

Zamani, H., Jafari, A., Mousavi, S. M., & Darezereshki, E. (2020). Biosynthesis of silica nanoparticle using *Saccharomyces cerevisiae* and its application on enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 190, 107002. doi: 10.1016/j.petrol.2020.107002.

Zhang, L., Li, D., & Gao, P. (2012). Expulsion of selenium/protein nanoparticles through vesicle-like structures by *Saccharomyces cerevisiae* under microaerophilic environment. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 3381—3386. doi: 10.1007/s11274-012-1150-y.

BIOSYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PEPTIDES WITH BACTERIOCIDAL ACTIVITY**I. Miroshnikov¹, Y. Penchuk^{1,2}, T. Falalyeyeva², O. Tsyryuk², O. Korotkyi²**¹*National University of Food Technologies*²*Taras Shevchenko Kyiv National University*

Key words:

Bacteriocins
Lactic acid bacteria
Mechanism of action
Biosynthesis
Food products

Article history:

Received 14.03.2024

Received in revised form
29.03.2024

Accepted 17.04.2024

Corresponding author:

Y. Penchuk

E-mail:

jimp@ukr.net

Citation: Мірошніков І. М., Пенчук Ю. М., Фалалєєва Т. М., Цирюк О. І., Короткий О. Г. (2024). Біосинтез і характеристика пептидів з бактерицидною активністю. *Наукові праці НУХТ*, 30(2), 79—93.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-8

ABSTRACT

As food safety has become an increasingly important international concern, the demand for safe preservatives has opened new directions for research into bacteriocins that can effectively combat contaminants and pathogens in the food industry.

Bacteriocins often exhibit a high activity and specificity. Common mechanisms of destruction by bacteriocins include the destruction of target cells by pore formation and/or inhibition of cell wall synthesis.

Nisin and pediocin PA-1 have been approved for use in food industry. Bacteriocins are also represented by commercial preparations; nisin A is produced by *Lactococcus lactis subsp. BS-10* (control of various cheeses and prevention of flavors and late puffiness associated with clostridia contamination), bacteriocins of *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii* DSM 706 and *Lacteicaseibacillus rhamnosus* DSM 7061 (inhibition of mold and psychrotrophs in cheeses), sakacin A and pediocin PA-1/AcH synthesized by strains of *Latilactobacillus curvatus* and *Pediococcus acidilactici* (fighting *Listeria monocytogenes* and as starter for meat fermentation), plantaricin and carnocin synthesized by *Lactiplantibacillus plantarum* and *Staphylococcus carnosus* (control of listerial contaminants in fermented sausages and cooked ham), leucocin produced by *Leuconostoc carnosum* (control of listeria in meat products stored in vacuum and modified atmosphere) and sakacin synthesized by *Latilactobacillus sakei* (control of listeria in stored or fresh meat products).

Bacteriocins also have potential for use in the medical sector as therapeutic agents. Owing to the emergence of antibiotic-resistant pathogens, a number of infectious diseases have become difficult to treat. This dire situation has been exacerbated by the fact that very limited progress has been made in recent years in the development of new and powerful antibiotics. However, a group of antimicrobial drugs, the so-called bacteriocins, have recently been studied extensively because of their great potential in the fight against antibiotic-resistant pathogens.

БІОСИНТЕЗ І ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕПТИДІВ З БАКТЕРІОЦИДНОЮ АКТИВНІСТЮ

І. М. Мірошніков¹, Ю. М. Пенчук^{1,2}, Т. М. Фалалєєва², О. І. Цирюк²,
О. Г. Короткий²

¹Національний університет харчових технологій

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Оскільки безпека харчових продуктів стає все більш важливою міжнародною проблемою, попит на безпечні консерванти відкрив нові напрямки для досліджень бактеріоцинів, які могли б ефективно боротися з контамінантами та патогенами в харчовій промисловості.

Бактеріоцини часто мають дуже високу активність і специфічність. Загальними механізмами знищення бактеріоцинами є руйнування клітин-мішеней шляхом утворення пор та/або інгібування синтезу клітинної стінки.

Для використання в харчовій промисловості схвалені нізин і педіоцин PA-1. Також бактеріоцини представлені комерційними препаратами: нізин А продукується *Lactococcus lactis* subsp. BC-10 (для контролю різних сирів і запобігання появі присмаків і пізнього здування, пов'язаних із зараженням клостридіями), бактеріоцини *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* DSM 706 і *Lacteisaccharibacillus rhamnosus* DSM 7061 (інгібування плісняви та психротрофів у сирах), сакацин А та педіоцин PA-1/АСН синтезовані штамами *Latilactobacillus curvatus* і *Pediococcus acidilactici* (боротьба з *Listeria monocytogenes* і як закваска для бродіння м'яса), плантаріцин і карноцин синтезовані *Lactiplantibacillus plantarum* і *Staphylococcus carnosus* (контроль лістеріальних контамінантів у ферментованих ковбасах і вареній шинці), лейкоцин продукується *Leuconostoc carnosum* (контроль лістерії у м'ясних продуктах, що зберігаються у вакуумі та модифікованій атмосфері), та сакацин, синтезований *Latilactobacillus sakei* (контроль лістерій у збережених або свіжих м'ясних продуктах).

Бактеріоцини також мають перспективи використання в медичному секторі як терапевтичні засоби. Через появу збудників, стійких до антибіотиків, низку інфекційних захворювань стало важко лікувати. Ця загрозна ситуація погіршується тим фактом, що в останні роки було досягнуто дуже обмеженого прогресу в розробці нових і потужних антибіотиків. Проте групі антимікробних препаратів — бактеріоцинам, останнім часом приділяється багато уваги, оскільки вони мають великий потенціал у боротьбі зі стійкими до антибіотиків патогенами.

Ключові слова: бактеріоцини, молочнокислі бактерії, механізм дії, біосинтез, харчові продукти.

Постановка завдання. Інтерес до включення функціональних продуктів у щоденний раціон для досягнення зміцнення здоров'я та зниження ризику захворювань постійно зростає. Численні дослідження були зосереджені на виробництві таких біологічно активних пептидів, як нутрицевтики і функціональні харчові інгредієнти через їх користь для здоров'я. Ці короткі пептиди, що виявляють

антигіпертензивну, антиоксидантну, зв'язуючу мінерали, імуномодулюючу та антимікробну активність, приховані в латентному стані в первинних послідовностях харчових білків, для вивільнення яких потрібен ферментативний протеоліз.

Мікробний синтез є одним з основних методів, який використовується для отримання біоактивних пептидів. Молочнокислі бактерії (МКБ) широко використовуються як закваски для виробництва різноманітних ферментованих харчових продуктів та як клітинні фабрики для виробництва біоактивних пептидів. Ці мікроорганізми залежать від складної протеолітичної системи, що забезпечує процеси бродіння. У молочній промисловості протеїнази, асоційовані з клітинною оболонкою МКБ, використовуються як біокатализатори на першому етапі розпаду казеїну з вивільненням біоактивних пептидів під час бродіння молока. Краще розуміння функціональності та регуляції протеолітичної системи МКБ відкриває майбутні можливості для виробництва нових харчових сполук із потенційно корисними властивостями (Grown та ін., 2017).

Серед протеїнів, що синтезуються МКБ, можна виділити окрему групу протеїнів з протимікробною активністю — бактеріоцинів. Бактеріоцини — це рибосомально синтезовані антимікробні пептиди, які давно використовуються в харчовій промисловості. Вони є надзвичайно різноманітною та гетерогенною групою сполук, а їх класифікація постійно розвивається. Бактеріоцини синтезуються широкою групою бактерій, але їх біосинтез і механізм дії є досить подібними.

В останнє десятиліття дослідники розглядають їх як потенційні терапевтичні засоби нового покоління проти стійких до ліків бактерій. Бактеріоцини молочнокислих бактерій перевіряються як засоби контролю бактеріальних і вірусних інфекцій. Вони можуть пригнічувати синтез біоплівки та мають потенціал як контрацептиви. Біоінженерні пептиди показали підвищену специфічну активність, що підтверджує перспективність розвитку напрямку. У цьому огляді ми розглянемо різні бактеріоцини грампозитивних МКБ, а також їх синтез і механізм дії.

Незважаючи на те, що для виявлення багатофункціональних бактеріоцинів було проведено численні дослідження, важливо зосередитися на механізмі дії цих пептидів, щоб перенести їх «зі столу до ліжка» (Fernandes, & Jobby, 2022; Penchuk та ін., 2023).

З огляду на зазначене вище варто зазначити, що дослідження біологічних активностей пептидів, синтезованих МКБ, є актуальним і перспективним на сьогодні. Вивчення білкового профілю пептидів, а також керування синтезом дасть змогу в повній мірі розкрити потенціал таких пептидів, як потенційних лікарських препаратів.

Метою статті є огляд та узагальнення літературних даних, які стосуються бактеріоцинів, що продукуються молочнокислими бактеріями, а також характеристика їх структури та визначення перспектив використання в різних галузях народного господарства.

Матеріали і методи. Для написання огляду були використані зарубіжні та вітчизняні наукові публікації у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються одержання та використання бактеріоцинів у різних галузях народного господарства. Пошук наукових статей проводився за допомогою

світових наукометричних баз даних, таких як Google Scholar та PubMed.

Викладення основних результатів дослідження. Характеристика пептидів з бактерицидною активністю. Пошук оптимальних умов виробництва (сировини та її обробки, зберігання, розподілу кінцевого продукту тощо) завжди був метою харчової промисловості. Виробництво харчових продуктів за оптимальною ціною, з подовженим терміном придатності, що задовольняють попит споживачів на більш здорові інгредієнти та без хімічних консервантів, можна підтримувати за допомогою антимікробних засобів мікробного походження, таких як бактеріоцини. Бактеріоцини легко виробляти, вони загалом безпечні та специфічні за механізмом дії, що має зробити їх ідеальними протимікробними засобами для харчової промисловості.

Застосування нізину охоплює широкий спектр продуктів із часто дуже різними дозволеними рівнями використання. Однак із багатьох досліджених бактеріоцинів лише нізин і згодом педіоцин PA-1 схвалені для використання в харчовій промисловості як частково очищені бактеріоцини (Silva, Silva, & Ribeiro, 2018).

Крім нізину та педіоцину PA-1, деякі інші бактеріоцини застосовувалися у складі багатокомпонентних комерційних препаратів, більшість яких пов'язана із застосуванням нізину А (BioSate™, Chr. Hansen), що продукується *Lactococcus lactis* subsp. BC-10 застосовується для контролю різних сирів і запобігання появі присмаків і пізнього здування, пов'язаних із зараженням клостридіями; невизначені бактеріоцини (HOLDBACK™, Dupont), продуковані *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* DSM 706 і *Lacteicaseibacillus rhamnosus* DSM 7061, для інгібування плісняви та психротрофів у сирах. Сакацин А та педіоцин PA-1/АсН (Vactoferm™ F-LC, Chr. Hansen), синтезовані штамами *Latilactobacillus curvatus* та *Pediococcus acidilactici*, для боротьби з *Listeria monocytogenes* і як закваска для бродіння м'яса; плантарицин і карноцин (ALCMix1, Danisco DuPont), синтезовані *Lactiplantibacillus plantarum* і *Staphylococcus carnosus*, для контролю лістеріальних контамінантів у ферментованих ковбасах і вареній шинці; лейкоцини (Vactoferm™ B-SF-43, Chr. Hansen), синтезовані *Leuconostoc carnosum*, для контролю лістерії у м'ясних продуктах, що зберігаються у вакуумі та модифікованій атмосфері; сакацин (Vactoferm™ B-2 і Vactoferm™ B-FM, Chr. Hansen), синтезований *Latilactobacillus sakei* (окремо або в поєднанні з *Staphylococcus xylosus*), для контролю лістерій у збережених або свіжих м'ясних продуктах (Soltani та ін., 2021).

Загалом, бактеріоцини також мають низку позитивних властивостей, які роблять їх привабливими для використання в медичній практиці. Бактеріоцини МБА за своєю природою стійкі до високих температур і мають активності в широкому діапазоні рН. Ці антимікробні пептиди також не мають кольору, запаху та смаку, що ще більше підвищує їхню потенційну корисність.

Незважаючи на довгу історію використання бактеріоцину, не було повідомлень про розвиток резистентних бактерій. Однією з можливих причин є те, що бактеріоцини мають механізм швидкої дії, який утворює пори в цільовій мембрані бактерій, навіть при надзвичайно низьких концентраціях. Вони також легко розкладаються протеолітичними ферментами завдяки своїй білковій природі. Таким чином, фрагменти бактеріоцину не живуть довго в організмі людини або в навколишньому середовищі, що зводить до мінімуму можливість взаємодії цільових

штамів з деградованими фрагментами антибіотиків: це загальна відправна точка в розвитку резистентності до антибіотиків (Oman, & van der Donk, 2010).

Найбільшою перевагою бактеріоцинів перед звичайними антибіотиками є їхня первинна метаболітна природа, оскільки вони мають відносно прості механізми біосинтезу порівняно зі звичайними антибіотиками, які є вторинними метаболітами. Цей факт робить їх перспективними об'єктами, що можуть бути отримані за допомогою біоінженерії для підвищення їхньої активності або специфічності щодо цільових мікроорганізмів. Основні відмінності між бактеріоцинами та звичайними антибіотиками зведені в табл. 1.

Для застосування в харчових продуктах бактеріоцини МКБ мають перевагу перед звичайними антибіотиками, оскільки, на відміну від останніх, бактеріоцини МКБ, зазвичай, вважаються придатними для харчових продуктів через типовий зв'язок МКБ із ферментацією їжі, яка бере свій початок із давніх часів. Для клінічного застосування бактеріоцини були представлені як життєздатна альтернатива антибіотикам через високу специфічність деяких проти клінічних патогенів, включаючи штами, стійкі до кількох антибіотиків (Cotter, Ross, & Hill, 2013).

Таблиця 1. Основні відмінності між бактеріоцинами та звичайними антибіотиками

Характеристика	Бактеріоцини	Антибіотики
Використання	Харчування/Клінічний	Клінічний
Синтез	Рибосомний	Вторинний метаболіт
Спектри біоактивності	Переважно вузькі	Переважно широкі
Інтенсивність біоактивності	Активний у молярному діапазоні від наномоль до мікромоль	Активний у молярному діапазоні від мікромоль до мілімоль
Розкладність протеолітичних ферментів	Високий	Від середнього до жодного
Термостабільність	Високий	Низький
Активний діапазон рН	Широкий	Вузькі
Колір/смак/запах	Немає	Так
Піддатливість до біоінженерії	Так	Немає
Можливий механізм розвитку резистентності клітин-мішеней	Адаптація через зміни складу клітинної мембрани	Генетично переносима детермінанта, яка інактивує активну сполуку
Механізм дії	Утворення пор, пригнічення біосинтезу клітинної стінки	Клітинна мембрана або міжклітинні мішені
Токсичність для еукаріотичних клітин	Загалом, ні	Так

Класифікація бактеріоцинів. З відкриттям нових бактеріоцинів, які мають унікальні характеристики, стало очевидним, що вони є дуже різноманітною та гетерогенною групою сполук. Протягом багатьох років були запропоновані різні схеми для класифікації бактеріоцинів з грампозитивних бактерій, включаючи МКБ. Бактеріоцини поділяються на дві категорії (табл. 2): лантибіотики (клас I), бактеріоцини, що не містять лантіонін (клас II), та бактеріолізину (клас III), оскільки вони є літичними ферментами, а не пептидами.

Таблиця 2. Класифікація бактеріоцинів із типовими бактеріоцинами, виділеними в нашій лабораторії

I	Лантибіотики, малі (<5 кДа) пептиди, що містять лантіонін і β-метиллантіонін	Нізін Z і, Ентероцин W, Нукацин ISK-1
II	Малі (<10 кДа), термостабільні пептиди, що не містять лантіонін	—
IIa	Малі термостабільні пептиди, синтезовані у формі попередника, який процесується після двох залишків гліцину, активних проти <i>Listeria</i> , мають консенсусну послідовність YGNGVXC на N-кінці	Ентероцин NKR-5-3C Ентероцин А Мундितिцин Лейкоцин А
IIb	Двокомпонентні системи: два різні пептиди, необхідні для формування активного порачійного комплексу	Лактокоцицин Q Ентероцин NKR-5-3AZ Ентероцин X
IIc	N- і C- кінці ковалентно з'єднані, що призводить до кільцевої структури	Лактоцикліцин Q Лейкоцикліцин Q
IId	Інші бактеріоцини класу II, включаючи <i>sec</i> -залежні бактеріоцини та бактеріоцини без лідера	Лактіцин Q і Z Вейселіцин Y і M Лейкоцин Q і N
III	Великі молекули чутливі до тепла пептиди	—

Бактеріоцини, або лантибіотики класу I (містять лантіонін) — це малі пептиди (<5 кДа), які мають незвичайні посттрансляційно модифіковані залишки, такі як лантіонін або 3-метиллантіонін. Ці незвичайні залишки утворюють ковалентні зв'язки між амінокислотами, які призводять до внутрішніх «кілець» і надають лантибіотикам їхні характерні структурні особливості (Asaduzzaman, & Sonomoto, 2009). Найбільш вивчені бактеріоцини — нізін А та його різновиди, є основними представниками лантибіотиків.

Бактеріоцини II класу, або нелантибіотики, є найбільш природними бактеріоцинами. Це малі (<10 кДа), термостабільні пептиди, що не містять лантіонін, які, на відміну від лантибіотиків, не піддаються значній посттрансляційній модифікації. Цю групу можна додатково розділити на чотири підкласи: «педіоцино-подібні» бактеріоцини (клас IIa), двокомпонентні бактеріоцини (клас IIb), кільцеві бактеріоцини (клас IIc) і немодифіковані, лінійні, непедіоциноподібні бактеріоцини (клас IId).

Бактеріоцини класу IIa мають чітку консервативну послідовність в N-кінцевій області, яка відповідає за їх високу ефективність проти *Listeria monocytogenes*.

Бактеріоцини класу IIb є двопептидними бактеріоцинами, для повної активності яких потрібно, щоб обидва пептиди працювали синергетично.

Бактеріоцини класу Іс, мабуть, найбільш погано вивчені з бактеріоцинів, згруповані на основі їх кільцевої структурної конфігурації. N- і C-кінці бактеріоцинів класу Іс ковалентно з'єднані, надаючи пептиду надзвичайно стабільну структуру.

Бактеріоцини класу Іd включають решту бактеріоцинів, об'єднаних як різноманітні або як однопептидну непедіоцинову лінійну групу. До цього класу належать *сек*-залежні бактеріоцини та безлідерні бактеріоцини (van Belkum, Martin-Visscher, & Vederas, 2011).

Особливості біосинтезу бактеріоцинів. Існує припущення, що більшість видів бактерій синтезують бактеріоцини. Це пояснюється тим, що їхні механізми біосинтезу є відносно простими та часто пов'язані з переносними елементами, такими як кон'югативні транспозони або плазміди. Як зазначалося раніше, бактеріоцини є рибосомально синтезованими пептидами. Гени, пов'язані з біосинтезом бактеріоцину, як правило, групуються в кластери і кодується в плазмідах, хромосомах і/або транспозонах з мінімальним генетичним механізмом, що складається зі структурно споріднених генів імунітету.

Бактеріоцини, зазвичай, синтезуються як біологічно неактивні препептиди, які включають N-кінцевий лідерний пептид, приєднаний до C-кінцевого пропептиду. Лідерний пептид:

- служить сайтом розпізнавання, який спрямовує препептид на дозрівання та до транспортних білків;
- захищає штам-продуцент, утримуючи бактеріоцин у неактивному стані, поки він знаходиться всередині штаму-продуцента;
- взаємодіє з пропептидним доменом, щоб забезпечити його відповідну конформацію для ферментно-субстратної взаємодії механізму модифікації.

Біосинтез лантибіотиків починається з трансляції препептиду, який складається з лідерного пептиду та модифікованого пропептидного фрагмента. Потім препептид піддається модифікації, після чого модифікований препептид транслокується через цитоплазматичну мембрану, а лідерний пептид розщеплюється протеолітично за допомогою специфічних ферментів. Гени, що кодують білки імунітету, а також білки, що беруть участь у регуляції його продукції, зазвичай розташовані в кластері навколо структурного гена бактеріоцину (Lubelski, Rink, Khusainov, Moll, & Kuipers, 2008).

Подібно до лантибіотиків, бактеріоцини класу ІІ синтезуються як неактивний препептид, який, зазвичай, містить характерний подвійний гліциновий сайт протеолітичної обробки. Однак деякі бактеріоцини класу ІІ синтезуються з типовою N-кінцевою сигнальною послідовністю *sec*-залежного типу та секретуються через загальний секреторний шлях. На відміну від лантибіотиків, бактеріоцини ІІ класу не зазнають значної посттрансляційної модифікації. Після трансляції препептиду він обробляється спеціальними ферментами для відщеплення лідерного пептиду, що супроводжується його транслокацією в позаклітинний простір через спеціальний ABC-транспортер, для якого іноді потрібен допоміжний білок (McAuliffe, Ross, & Hill, 2001).

Гени, що кодують бактеріоцин, організовані в оперони, розташовані в хромосомі, плазміді або інших мобільних генетичних елементах. Загалом, ці оперони є індукцибельними та потребують секреції, а також позаклітинного накопичення бактеріальних пептидів для індукції. Бактеріоцини вивільнюються поза клітинами

та можуть мати бактерицидну чи бактеріостатичну дію на види, тісно пов'язані зі штамом-продуцентом, або впливати на інші роди, типи та навіть домени (Noda та ін., 2018).

Крім того, вплив факторів навколишнього середовища сприяє секреції бактеріоцинів, включаючи щільність бактеріальних клітин, наявність поживних речовин, оцтової кислоти та сигнальних пептидів (молекул пептидів, що стимулюють компетентність) (Zimina та ін., 2020). Цікавим є те, що бактеріоцини у 10^3 — 10^6 разів активніші за різні інші протимікробні засоби, включаючи звичайні антибіотики (Kumariya та ін., 2019; Bédard та ін., 2018; Schofs, Sparo, & Bruni, 2020). Тому бактерії, що продукують бактеріоцини, синтезують білки власного імунітету, які захищають їх від власних бактеріоцинів шляхом їх поглинання або конкуренції антагоністів за рецептор бактеріоцину (Meade, Slattery, & Garvey, 2020; Alkhatib, Abts, Mavaro, Schmitt, & Smits, 2012). Важливою перевагою бактеріоцинів є те, що вони можуть проявляти активність проти патогенних та умовно-патогенних бактерій, у тому числі мультирезистентних видів, без розрізнення між резистентними до антибіотиків і чутливими штамми. Було показано, що кілька бактеріоцинів діють у синергії зі звичайними антибіотиками, зменшуючи концентрації, небажані побічні ефекти та поширеність резистентних штамів (Cotter, Ross, & Hill, 2013).

Цікаво, що комбінація бактеріоцинів і антибіотиків була запропонована як новий терапевтичний варіант для сільськогосподарських тварин. Вивчається можливість повної заміни антибіотиків, щоб уникнути стійкості бактерій. Разом з цим було показано, що бактеріоцини МКБ можуть синергічно діяти з іншими біомолекулами, такими як нізин і лимонна кислота, проти *Staphylococcus aureus* і *Listeria monocytogenes* (Cavera, Arthur, Kashtanov, & Chikindas, 2015). Було також показано, що деякі бактерії все ж таки можуть розвивати стійкість до бактеріоцинів, однак стійкість до бактеріоцинів мінімальна порівняно зі звичайними антибіотиками. Оскільки частота спонтанних мутацій у клітинах, які піддалися впливу бактеріоцинів, низька, то стійкість, як правило, виникає через модифікації клітинної оболонки, такі як зміни заряду та товщини (Soltani та ін., 2021).

Структурна модифікація бактеріоцинів. На сьогодні розрізняють різні варіанти нізину A, Z і Q (Sakayori та ін., 2003). Нізин Q, третій варіант нізину, про який повідомляється, був синтезований *Lactococcus lactis* 61—14, який виділили з японської річки. Незважаючи на те, що нізин Q має подібну структуру до структури нізинів A і Z, які були проаналізовані за допомогою спектроскопії ядерного магнітного резонансу, гена анотація локусу нізину Q показала значно меншу схожість (лише 82%) з іншими нізинами, тоді як нізини A і Z мають майже ідентичні генні локуси. Це вказує на те, що з еволюційної точки зору локус нізину Q знаходиться на більшій генетичній відстані від локусів як нізину A, так і Z. Однак нізин Q все ще має споріднений біосинтетичний шлях з іншими варіантами нізину, оскільки він був успішно отриманий, коли його структурний ген, *nisQ*, був введений у штам, що продукує нізин Z. Крім того, нізин Q може стимулювати активність феромонів у системі регуляції нізину A (*NisRK*), хоча й у значно меншому ступені, ніж нізин A (Zendo та ін., 2003).

Нізин Q відрізняється від нізину A та Z, відповідно, чотирма та трьома амінокислотними залишками. Незважаючи на те, що ці варіанти нізину мають порівняльні біохімічні характеристики та спектри антимікробної активності, нізин Q

менш сприйнятливий до окислення, що є загальним явищем/реакцією, яка значно знижує біоактивність нізину, ніж інші похідні. Притаманна нізину Q висока стабільність проти окислення зумовлена відсутністю метіоніну в шарнірній області. Нізини A і Z мають залишок метіоніну в положенні 21 в центральній шарнірній області, тоді як у нізині Q метіонін замінений лейцином. Хоча нізин Q все ще має залишок метіоніну в положенні 17, це відбувається в жорсткій кільцевій структурі, що робить його менш сприйнятливим до окислення (Fukao та ін., 2008). Підвищена окислювальна стійкість нізину Q порівняно з іншими варіантами свідчить про те, що цей штаб може бути особливо корисним у певних сферах застосування, наприклад, у харчових системах, де окислення є поширеним явищем.

Висока специфічність бактеріоцинів класу Па проти психрофільного харчового патогену *Listeria monocytogenes* робить цю групу потенційною для використання проти цього летального патогену. Ентероцин NKR-5-3C (Ent53C) є одним з бактеріоцинів, що виробляються *Enterococcus faecium* NKR-5-3, LAB, виділеним із тайської ферментованої риби *Pla-ra* (Himeno та ін., 2012). Ent53C продемонстрував дуже сильну мікробну активність (у наномолярному діапазоні) проти *Listeria* spp. та інші грампозитивні види, типова характеристика бактеріоцинів класу Па.

Бактеріоцини класу Па мають консервативну послідовність, відому як педіоцин-бокс у своїй N-кінцевій області. У боксі педіоцину Ent53C валін замінено лейцином. Це не рідкість, оскільки відомо про низку бактеріоцинів з варіантом педіоцин-бокс. Однак серед бактеріоцинів класу Па з варіантом педіоцин-бокса лише Ent53C містить два дисульфідні містки (Ishibashi та ін., 2012). Кількість дисульфідних містків у бактеріоцинах Па класу прямо корелює з інтенсивністю їх антимікробної активності та стабільністю. Висока антимікробна активність Ent53C, особливо проти *Listeria* spp., і його винятково висока стабільність, про яку свідчить кількість дисульфідних містків, повинні бути корисними для його майбутнього застосування в різних галузях.

У той час як більшість бактеріоцинів існують як єдина активна пептидна молекула, дипептидні (клас Пб) бактеріоцини складаються з двох різних окремих пептидних молекул, які вимагають рівних кількостей кожного пептиду для прояву своєї оптимальної антимікробної активності. До цього класу належать лактокоцини Q, ентероцин X та ентероцин NKR-5-3AZ (Himeno та ін., 2012).

Лактокоцин Q, новий дипептидний бактеріоцин, виокремлений з *L. lactis* QU 4, виділеного з кукурудзи, складається з двох пептидів: Q α і Q β . Ці два пептиди демонструють високу подібність до лактокоцину G α і G β , пептидів, які містять два пептиди бактеріоцину лактокоцину G. Обидва лактокоцини G і Q мають дуже вузький і специфічний антимікробний спектр з антимікробною активністю лише проти штамів *L. lactis*. Структурний аналіз пептидів лактокоцину Q показав наявність α -спіральної структури у тих самих положеннях, що й у лактокоцину G, припускаючи таким чином, що ці бактеріоцини мають подібні механізми дії. Крім того, гібридні комбінації цих гомологічних лактокоцинів мають ідентичні спектри активності до оригінальних комбінацій, хоча деякі призводять до активності, відмінної від оригінальної. При змішуванні з еквімолярною концентрацією

G β лактококцин Q α мав у 32 рази нижчу питому активність, ніж вихідна комбінація, тоді як G α та Q β у комбінації мали специфічну активність, порівнянну з вихідною комбінацією лактококцину Q.

Ентероцин X — це новий двопептидний бактеріоцин з *E. faecium* KU-B5, який має іншу активність проти цільових мікроорганізмів, ніж його складові пептиди, ентероцин X α і X β . Коли еквімолярні концентрації цих пептидів перевіряли на панелі індикаторних штамів, комбінована антимікробна активність не була рівномірно посилена, з активністю в 0,13—130 разів або в 1,0—1020 разів, ніж у окремих X α і X β відповідно (Feng, Guron, Churey, & Worobo, 2009; Hu, Malaphan, Zendo, Nakayama, & Sonomoto, 2010).

Ентероцин NKR-5-3AZ (Ent53AZ), навпаки, є одним із багатьох бактеріоцинів, що виробляються бактеріальним штамом *E. faecium* NKR-5-3. Цей бактеріоцин продемонстрував дуже високу гомологію з іншим двопептидним бактеріоцином — брохоцином-С, який складається з брохоцинів А і В. Хоча очищення Ent53Z із супернатанту культури штаму NKR-5-3 було невдалим, як це сталося з його гомологом, брохоцином В, його передбачуваний структурний ген, *ent53Z*, був знайдений безпосередньо за передбачуваним структурним геном Ent53A в геномі NKR-5-3 (Himeno та ін., 2012).

Циркулярні бактеріоцини (клас Іс) характеризуються своєю унікальною структурною особливістю циклізації. Круговий характер їх структури забезпечує більшу структурну стабільність, вищу стійкість до термічного стресу та кращу стійкість проти протеолітичного розщеплення порівняно з їхніми лінійними аналогами. З огляду на їхню виняткову міцність розглядається використання колових бактеріоцинів як харчових консервантів і стабільних антимікробних агентів для клінічних умов. Однак для того, щоб цей повний потенціал був визнаний, важливо, щоб були зрозумілі їхні біосинтетичні механізми, які наразі залишаються невідомими (Heng, Burtenshaw, Jack, & Tagg, 2007).

Лактоцикліцин Q (LycQ), виділений з *Lactococcus* sp. QU 12, і лейкоцикліцин Q (LcyQ), виділений з *Leuconostoc mesenteroides* ТК41401, є кільцевими бактеріоцинами, що складаються з 61 амінокислотного залишку. Аналіз послідовності ДНК структурних генів виявив їхню ідентичну природу. LycQ і LcyQ мають спільні 72% ідентичності послідовності ДНК. Крім того, обидва їхні пептидопередники містять лідерну послідовність із двох амінокислотних залишків, у яких циклізація (з утворенням зрілого бактеріоцину) відбувається між L3 і W63 (Richard та ін., 2006). Прогнозний аналіз вторинної структури обох бактеріоцинів виявив чотири ідентичні α -спіралі, усі з яких мають тонкі амфіфільні характеристики, які, як вважають, відіграють важливу роль у їх антимікробній дії.

Як і будь-який типовий циркулярний бактеріоцин, LycQ і LcyQ виявляють високу стабільність проти термічного, рН і протеолітичних ферментних стресів. Наприклад, LycQ зберігає повну активність після впливу 121 °С протягом 15 хв за кислого рН, а також не втрачає активність за рН в діапазоні 3,0—9,0. Інші бактеріоцини, такі як нізин Z, втрачають більшу частину своєї антимікробної активності під впливом аналогічних умов (Hu, Malaphan, Zendo, Nakayama, & Sonomoto, 2010).

Як і у випадку з іншими кільцевими бактеріоцинами, механізми біосинтезу LycQ і LcyQ залишаються неясними. Незважаючи на те, що спроби гетерологічно

експресувати LcyQ провалилися, ідентифікація його передбачуваного кластера біосинтетичних генів була нещодавно повідомлена Mu *et al*, який також визначив біологічну функцію LcyD у дозріванні LcyQ. LcyD є білком, що належить до великого сімейства білків невідомих функцій — це мембранні білки надродини DUF95, які широко поширені в кластерах біосинтетичних генів кільцевих бактеріоцинів (Conlan, Gillon, Craik, & Anderson, 2010).

Хоча більшість бактеріоцинів синтезуються як неактивні препептиди, які містять N-кінцевий лідерний пептид, приєднаний до C-кінцевого пропептидного фрагмента (De Kwaadsteniet, Fraser, Van Reenen, & Dicks, 2006), деякі бактеріоцини є нетиповими в тому сенсі, що вони синтезуються без N-кінцевої лідерної послідовності. Оскільки лідерні пептиди типових бактеріоцинів відіграють важливу роль у місцях розпізнавання для секреції та дозрівання під час синтезу бактеріоцину, а також для захисту штаму-продуцента, утримуючи їх у неактивному стані всередині бактеріальних клітин-продуцентів, передбачається, що безлідерні бактеріоцини мають унікальні біосинтетичні механізми Craik, Mylne, ж & Daly, 2010). З точки зору застосування безлідерні бактеріоцини мають багатообіцяючий комерційний потенціал, оскільки їх можна легко синтезувати без необхідності розщеплення лідерного пептиду. Це значно полегшує масштабне виробництво навіть у гетерологічних еукаріотичних системах виробництва. Наприклад, лактицин Q і його гомолог лактицин Z були отримані *L. lactis* QU 5 і *L. lactis* QU 14 відповідно. Штам QU 5 є МКБ, виділеною із кукурудзи (Sawa та ін., 2006), тоді як штам QU 14 був виділений із кишечника коня (Masuda та ін., 2012). Крім того, нещодавно було виявлено, що *Weissella hellenica* QU 13, виділена з японських солоних огірків *Takana-zuke*, продукує два нових безлідерних бактеріоцинів — вейселісини Y і M.

Лактицин Q і Z на 94% ідентичні, відрізняючись лише трьома амінокислотними залишками в положеннях 10, 33 і 44. Крім того, вони обидва мають формільований метіонін у початковому залишку. Обидва є висококатионними пептидами з 53 амінокислотами, які демонструють дуже сильну антимікробну активність (у наномолярних концентраціях), а також високу стабільність проти різних стресів (Masuda та ін., 2011; Mu та ін., 2011). Лактицин Q містить дві амфіфільні спіралі, які відіграють важливу роль у його антимікробній активності. Завдяки дуже високій гомології та порівнянним спектрам активності цих двох безлідерних бактеріоцинів було зроблено висновок, що вони мають однаковий спосіб антимікробної дії (Iwatani, Zendo, Nakayama, & Sonomoto, 2007).

Механізм антимікробної дії лактицину Q був детально вивчений. У той час як більшість бактеріоцинів потребують док-молекули для їх протимікробної дії, ліпиду II для нізину A та інших лангібіотиків, а транспортера манози ABC, MptD, для педіоцину PA-1/AsH та його гомологів бактеріоцинів, виявлено, що лактицин Q викликає мембрану високого рівня пермеабілізація цільових штамів без будь-яких специфічних рецепторів. Було виявлено, що лактицин Q утворює велику тороїдальну пору (НТР) розміром близько 4,6—6,6 нм, яка є достатньо великою, щоб спричинити витік внутрішньоклітинних компонентів, таких як іони та АТФ, а також великих молекул, таких як білки, що призводить до загибелі клітин (Yonezawa та ін., 2009). Було показано, що механізм утворення НТР починається з

електростатичної взаємодії катіонних молекул лактицину Q і негативно заряджених мембран. Швидке зв'язування лактицину Q з двошаровими фосфоліпідними мембранами призводить до утворення НТР у поєднанні з ліпідним фліп-флопом. Потім внутрішньоклітинні компоненти виходять із цих пор, і настає смерть клітини. Пори, утворені в мембрані, недовговічні, тому що ці НТР закриваються, коли молекули лактицину Q переміщуються із зовнішньої клітинної мембрани на внутрішню (Yoneyama та ін., 2009). Однак механізм знищення через утворення НТР лактицину Q є вибірконим і сильно залежить від фізіологічних особливостей зовнішньої мембрани клітин-мішеней, що пояснює нетоксичність лактицину Q проти грамнегативних бактерій (Yoneyama та ін., 2011). Крім того, нещодавно було висловлено припущення, що інший механізм може відповідати за селективну антимікробну активність лактицину Q. Відмінності в антимікробній активності лактицину Q проти деяких чутливих бактерій навіть у межах виду можуть бути наслідком накопичення гідроксильних радикалів через реакцію Фентона. Було зроблено висновок, що селективна токсичність лактицину Q буде залежати від здатності штамів поглинати ці гідроксильні радикали (Li та ін., 2013).

Гени, що беруть участь у біосинтезі лактицину Q і Z, визначені нещодавно. Кластери біосинтетичних генів *lnqBCDEF* і *lnzBCDEF* беруть участь у секреції та самоімунітеті лактицину Q і Z відповідно. Надмірна експресія *lnqQ* у *L. lactis* NZ9000 призвела до внутрішньоклітинного накопичення лактицину Q. Це, у свою чергу, призвело до пригнічення росту в результаті внутрішньоклітинної токсичності бактеріоцину, але ріст клітин продовжився, при коекспресуванні *lnqBCDEF* (Iwatani та ін., 2013). Подальший аналіз функцій генних продуктів *lnqBCDEF* виявив, що секреція лактицину Q у позаклітинний простір суворо контролюється генними продуктами цього генного кластера, тоді як система власного імунітету є більш гнучкою. Імунітет транспортного типу ABC L_{nq}EF достатній для надання мінімального імунітету, тоді як L_{nq}BCD вважаються допоміжними білками, які підтримують активність L_{nq}EF (Iwatani та ін., 2013).

Висновки

Бактеріоцини МКБ продовжують привертати увагу все більшої кількості науковців завдяки їхньому великому потенціалу застосування як у харчовій, так і у фармацевтичній промисловостях. У харчовій промисловості бактеріоцини вже давно пропонуються як рішення проблем псування харчових продуктів та харчових інфекцій. Проте досі нізін залишається єдиним комерційно доступним і промислово використовуваним бактеріоцином, незважаючи на величезну кількість бактеріоцинів, відкрити за останні два десятиліття.

Висока специфічна активність деяких бактеріоцинів проти клінічних патогенів, навіть проти стійких штамів, пропонує можливе вирішення цієї проблеми. Але, можливо, саме їхня здатність до біоінженерії робить їх надзвичайно перспективними. Існує все більше повідомлень про біоінженерні бактеріоцини з вузьким спектром дії (які мінімізують пошкодження природної кишкової флори), підвищеною біоактивністю та вищою стабільністю.

Отже, для подальшого розширення арсеналу бактеріоцинів проти цих небажаних мікроорганізмів (псування та патогенів) важливо не лише поглибити до-

слідження (спосіб антимікробної дії та механізми їх біосинтезу) відомих бактеріоцинів, але й продовжити пошуки більш нових бактеріоцинів з багатообіцяючими властивостями.

Література

- Alkhatib, Z., Abts, A., Mavaro, A., Schmitt, L., Smits, S. H. (2012). Lantibiotics: How Do Producers Become Self-Protected? *J. Biotechnol.*, 159:145—154. doi: 10.1016/j.jbiotec.2012.01.032.
- Asaduzzaman, S. M., Sonomoto, K. (2009). Lantibiotics: diverse activities and unique modes of action. *J. Biosci Bioeng.*, 107:475—487. doi:10.1016/j.jbiosc.2009.01.003.
- Bédard, F., Hammami, R., Zirah, S., Rebuffat, S., Fliss, I., Biron, E. (2018). Synthesis, Antimicrobial Activity and Conformational Analysis of the Class IIa Bacteriocin Pediocin PA-1 and Analogs Thereof. *Sci. Rep.*, 8:1—13. doi: 10.1038/s41598-018-27225-3.
- Brown, L., Pingitore, E.V., Mozzi, F., Saavedra, L., Villegas, J., Hebert, E. (2017). Lactic Acid Bacteria as Cell Factories for the Generation of Bioactive Peptides. *Protein Pept Lett.*, 24(2):146—155. doi: 10.2174/0929866524666161123111333.
- Cavera, V. L., Arthur, T. D., Kashtanov, D., Chikindas, M. L. (2015). Bacteriocins and Their Position in the Next Wave of Conventional Antibiotics. *Int. J. Antimicrob. Agents.*, 46:494—501. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2015.07.011.
- Conlan, B. F., Gillon, A. D., Craik, D. J., Anderson, M. A. (2010). Circular proteins and mechanisms of cyclization. *Biopolymers*, 94:573—583. doi: 10.1002/bip.21422.
- Cotter, P. D., Ross, R. P., Hill, C. (2013). Bacteriocins — a viable alternative to antibiotics? *Nat Rev Microbiol.*, 11:95—105.
- Cotter, P. D., Ross, R. P., Hill, C. (2013). Bacteriocins — A Viable Alternative to Antibiotics. *Nat. Rev. Genet.*, 11:95—105. doi: 10.1038/nrmicro2937.
- Craik, D. J., Mylne, J. S., Daly, N. L. (2010). Cyclotides: macrocyclic peptides with applications in drug design and agriculture. *Cell Mol Life Sci.*, 67:9—16. doi: 10.1007/s00018-009-0159-3.
- De Kwaadsteniet, M., Fraser, T., Van Reenen, C. A., Dicks, L. M. (2006). Bacteriocin T8, a novel class IIa sec-dependent bacteriocin produced by *Enterococcus faecium* T8, isolated from vaginal secretions of children infected with human immunodeficiency virus. *Appl Environ Microbiol.*, 72:4761—4766. doi: 10.1128/AEM.00436-06.
- Feng, G., Guron, G. K., Churey, J. J., Worobo, R. W. (2009). Characterization of mundticin L, a class IIa anti-*Listeria* bacteriocin from *Enterococcus mundtii* CUGF08. *Appl Environ Microbiol.*, 75:5708—5713. doi: 10.1128/AEM.00752-09.
- Fernandes, A., Jobby, R. (2022). Bacteriocins from lactic acid bacteria and their potential clinical applications. *Appl Biochem Biotechnol.*, Oct;194(10):4377—4399. doi: 10.1007/s12010-022-03870-3.
- Fukao, M., Obita, T., Yoneyama, F., Kohda, D., Zendo, T., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2008). Complete covalent structure of nisin Q, new natural nisin variant, containing post-translationally modified amino acids. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 72:1750—1755. doi: 10.1271/bbb.80066.
- Heng, N. C., Burtenshaw, G. A., Jack, R. W., Tagg, J. R. (2007). Ubericin A, a class IIa bacteriocin produced by *Streptococcus uberis*. *Appl Environ Microbiol.*, 73:7763—7766. doi: 10.1128/AEM.01818-07.
- Himeno, K., Fujita, K., Zendo, T., Wilaipun, P., Ishibashi, N., Masuda, Y., Yoneyama, F., Leela-watcharamas, V., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2012). Identification of enterocin NKR-5-3C, a novel class IIa bacteriocin produced by a multiple bacteriocin producer, *Enterococcus faecium* NKR-5-3. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 76:1245—1247.
- Hu, C. B., Malaphan, W., Zendo, T., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2010). Enterocin X, a novel two-peptide bacteriocin from *Enterococcus faecium* KU-B5, has an antibacterial spectrum entirely different from those of its component peptides. *Appl Environ Microbiol.*, 76:4542—4545. doi: 10.1128/AEM.02264-09.
- Ishibashi, N., Himeno, K., Fujita, K., Masuda, Y., Perez, R. H., Zendo, T., Wilaipun, P., Leela-watcharamas, V., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2012). Purification and characterization of multiple

bacteriocins and an inducing peptide produced by *Enterococcus faecium* NKR-5-3 from Thai fermented fish. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 76:947—953. doi: 10.1271/bbb.110972.

Iwatani, S., Horikiri, Y., Zendo, T., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2013). Bifunctional gene cluster *lnqBCDEF* mediates bacteriocin production and immunity with differential genetic requirements. *Appl Environ Microbiol.*, 79:2446—2449. doi: 10.1128/AEM.03783-12.

Iwatani, S., Yoneyama, F., Miyashita, S., Zendo, T., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2012). Identification of the genes involved in the secretion and self-immunity of lacticin Q, an unmodified leaderless bacteriocin from *Lactococcus lactis* QU 5. *Microbiology*, 158:2927—2935. doi: 10.1099/mic.0.062943-0.

Iwatani, S., Zendo, T., Yoneyama, F., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2007). Characterization and structure analysis of a novel bacteriocin, lacticin Z, produced by *Lactococcus lactis* QU 14. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 71:1984—1992. doi: 10.1271/bbb.70169.

Kumariya, R., Garsa, A. K., Rajput, Y., Sood, S., Akhtar, N., Patel, S. (2019). Bacteriocins: Classification, Synthesis, Mechanism of Action and Resistance Development in Food Spoilage Causing Bacteria. *Microb. Pathog.* 128:171—177. doi: 10.1016/j.micpath.2019.01.002.

Li, M., Yoneyama, F., Toshimitsu, N., Zendo, T., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2013). Lethal hydroxyl radical accumulation by a lactococcal bacteriocin, lacticin Q. *Antimicrob Agents Chemother.*, 57:3897—3902. doi: 10.1128/AAC.00638-13.

Lubelski, J., Rink, R., Khusainov, R., Moll, G. N., Kuipers, O. P. (2008). Biosynthesis, immunity, regulation, mode of action and engineering of the model lantibiotic nisin. *Cell Mol Life Sci.*, 65: 455—476. doi:10.1007/s00018-007-7171-2.

Masuda, Y., Ono, H., Kitagawa, H., Ito, H., Mu, F., Sawa, N., Zendo, T., Sonomoto, K. (2011). Identification and characterization of leucocyclin Q, a novel cyclic bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides* TK41401. *Appl Environ Microbiol.*, 77:8164—8170. doi: 10.1128/AEM.06348-11.

Masuda, Y., Zendo, T., Sawa, N., Perez, R. H., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2012). Characterization and identification of weissellicin Y and weissellicin M, novel bacteriocins produced by *Weissella hellenica* QU 13. *J Appl Microbiol.*, 112:99—108. doi: 10.1111/j.1365-2672.2011.05180.x.

McAuliffe, O., Ross, R. P., Hill, C. (2001) Lantibiotics: structure, biosynthesis and mode of action. *FEMS Microbiol Rev.*, 25:285—308. doi:10.1111/j.1574-6976.2001.tb00579.x.

Meade, E., Slatery, M. A., Garvey, M. (2020). Bacteriocins, Potent Antimicrobial Peptides and the Fight against Multi Drug Resistant Species: Resistance Is Futile? *Antibiotics.*, 9:32. doi: 10.3390/antibiotics9010032.

Mu, F., Masuda, Y., Zendo, T., Ono, H., Kitagawa, H., Ito, H., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2014). Biological function of a DUF95 superfamily protein involved in the biosynthesis of a circular bacteriocin, leucocyclin Q. *J. Biosci. Bioeng.*, 117:158—164. doi: 10.1016/j.jbiosc.2013.06.023.

Noda, M., Miyauchi, R., Danshiitsoodol, N., Matoba, Y., Kumagai, T., Sugiyama, M. (2018). Expression of Genes Involved in Bacteriocin Production and Self-Resistance in *Lactobacillus brevis* 174A Is Mediated by Two Regulatory Proteins. *Appl. Environ. Microbiol.*, 84:e02707—17. doi: 10.1128/AEM.02707-17.

Oman, T. J., van der Donk, W. A. (2010). Follow the leader: the use of leader peptides to guide natural product biosynthesis. *Nat. Chem. Biol.*, 6:9—18. doi: 10.1038/nchembio.286.

Penchuk, Y., Savytska, M., Kobyliak, N., Ostapchenko, D., Kolodiy, I., Onysenko, S., Tsyryuk, O., Korotkyi, O., Grygoriev, F., Falalyeyeva, T. (2023). Antimicrobial activity of dietary supplements based on bacterial lysate of *Lactobacillus rhamnosus* DV, *Front. Cell. Infect. Microbiol., Sec. Intestinal Microbiome*, V. 13, <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1211952>.

Richard, C., Canon, R., Naghmouchi, K., Bertrand, D., Prevost, H., Drider, D. (2006). Evidence on correlation between number of disulfide bridge and toxicity of class IIa bacteriocins. *Food Microbiol.*, 23:175—183. doi: 10.1016/j.fm.2005.02.001.

Sakayori, Y., Muramatsu, M., Hanada, S., Kamagata Y., Kawamoto S., Shima J. (2003). Characterization of *Enterococcus Faecium* Mutants Resistant to Mundtacin KS, a Class IIa Bacteriocin. *Microbiology.*, 149:2901—2908. doi: 10.1099/mic.0.26435-0.

- Sawa, N., Zendo, T., Kiyofuji, J., Fujita, K., Himeno, K., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2009). Identification and characterization of lactocyclin Q, a novel cyclic bacteriocin produced by *Lactococcus* sp. strain QU 12. *Appl Environ Microbiol.*, 75:1552—1558. doi: 10.1128/AEM.02299-08.
- Schofs, L., Sparo, M. D., Bruni, S. F. S. (2020). Gram-Positive Bacteriocins: Usage as Antimicrobial Agents in Veterinary Medicine. *Veter. Res. Commun.*, 44:1—12. doi: 10.1007/s11259-020-09776-x.
- Silva, C. C. G., Silva, S. P. M., Ribeiro, S. C. (2018). The use of bacteriocins and protective cultures in the preservation of dairy products. *Front. Microbiol.*, 9:594. doi: 10.3389/fmicb.2018.00594.
- Soltani, S., Hammami, R., Cotter, P. D., Rebuffat, S., Said, L. B., Gaudreau, H., Bédard, F., Biron, E., Drider, D., Fliss, I. (2021). Bacteriocins as a new generation of antimicrobials: Toxicity aspects. *FEMS Microbiol.*, 45:fuaa039. doi:10.1093/femsre/fuaa039.
- Soltani, S., Hammami, R., Cotter, P. D., Rebuffat, S., Said, L. B., Gaudreau, H., Bédard, F., Biron, E., Drider, D., Fliss, I. (2021). Bacteriocins as a New Generation of Antimicrobials: Toxicity Aspects and Regulations. *FEMS Microbiology Reviews.*, V.45, I.1, fuaa039 doi: <https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa039>.
- van Belkum, M. J., Martin-Visscher, L. A., Vederas, J. C. (2011) Structure and genetics of circular bacteriocins. *Trends Microbiol.*, 19:411—418. doi:10.1016/j.tim.2011.04.004.
- Yamazaki, K., Suzuki, M., Kawai, Y., Inoue, N., Montville, T. J. (2005). Purification and characterization of a novel class IIa bacteriocin, pisciocin CS526, from surimi-associated *Carnobacterium piscicola* CS526. *Appl Environ Microbiol.*, 71:554—557. doi: 10.1128/AEM.71.1.554-557.2005.
- Yoneyama, F., Imura, Y., Ichimasa, S., Fujita, K., Zendo, T., Nakayama, J., Matsuzaki, K., Sonomoto, K. (2009). Lactacin Q, a lactococcal bacteriocin, causes high-level membrane permeability in the absence of specific receptors. *Appl Environ Microbiol.*, 75:538—541. doi: 10.1128/AEM.01827-08.
- Yoneyama, F., Imura, Y., Ohno, K., Zendo, T., Nakayama, J., Matsuzaki, K., Sonomoto, K. (2009). Peptide-lipid huge toroidal pore, a new antimicrobial mechanism mediated by a lactococcal bacteriocin, lactacin Q. *Antimicrob Agents Chemother.*, 53:3211—3217. doi: 10.1128/AAC.00209-09.
- Yoneyama, F., Ohno, K., Imura, Y., Li, M., Zendo, T., Nakayama, J., Matsuzaki, K., Sonomoto, K. (2011). Lactacin Q-mediated selective toxicity depending on physicochemical features of membrane components. *Antimicrob Agents Chemother.*, 55:2446—2450. doi: 10.1128/AAC.00808-10.
- Zendo, T., Fukao, M., Ueda, K., Higuchi, T., Nakayama, J., Sonomoto, K. (2003). Identification of the lantibiotic nisin Q, a new natural nisin variant produced by *Lactococcus lactis* 61—14 isolated from a river in Japan. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 67:1616—1619. doi: 10.1271/bbb.67.1616.
- Zimina, M., Babich, O., Prosekov, A., Sukhikh, S., Ivanova, S., Shevchenko, M., Noskova, S. (2020). Overview of Global Trends in Classification, Methods of Preparation and Application of Bacteriocins. *Antibiotics.*, 9:553. doi: 10.3390/antibiotics9090553.

FLEXIBLE WORKING SCHEDULE AT THE ENTERPRISE: LEGISLATION AND FEATURES OF IMPLEMENTATION IN HR-PRACTICE

O. Bezpalko, Y. Hryniuk, O. Redka

National University of Food Technologies

Key words:

*Flexible work schedule
Flexible working hours
Accounting of working
hours
Working day
Flexible hours*

Article history:

Received 04.03.2024
Received in revised form
20.03.2024
Accepted 05.04.2024

Corresponding author:

O. Bezpalko

E-mail:

bezpalko.elen@gmail.com

Citation: Безпалько О. В.,
Гринюк Ю. М., Редька О. В.
(2024). Гнучкий робочий
графік на підприємстві:
законодавче регулювання
та особливості впровад-
ження в HR-практику.
Наукові праці НУХТ,
30(2), 94—105.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-2-9

ABSTRACT

Today's realities (the COVID-19 pandemic and then war) require Ukrainian employers to be more flexible in the use of human resources and working time, in particular, by introducing flexible work schedules, which, according to International Labor Organization specialists, are today the most popular format of flexible working hours. In the course of the study, the meaning of the concept of flexible work schedule was clarified, based on which it was compared with the synonymous, at first glance, concepts of variable, sliding, free, hybrid schedules and banking of working time, with the identification of fundamental differences and similar features. Typical cases of the use of flexible work schedules under various conditions of the organization of production and work at the enterprise were summarized, for example, for an uneven workload of an employee throughout the day, for a high degree of dependence of production on weather conditions, for the presence of parents of minor children, high school graduates and other cases.

Monitoring of the legal framework of Ukraine on the regulation of flexible working hours made it possible to classify the flexible working schedule by its validity period, the stage of labor relations, the initiator and the fact of notification of the employee about its establishment, the scheme of distribution of working time during the day for civil servants and types of accounting of working time.

In order to improve the practice of introducing flexible work schedules into the HR management system of domestic companies, all possible variants of it were proposed, such as: «stepped» schedule with flexible hours, flexible working day and combined as a combination of the previous two with partial remote work. Each of them distributes an employee's working day (week) differently from the point of view of flexibility, but their common feature is a positive effect on staff job satisfaction and work productivity.

ГНУЧКИЙ РОБОЧИЙ ГРАФІК НА ПІДПРИЄМСТВІ: ЗАКОНОДАВЧЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ В HR-ПРАКТИКУ

О. В. Безпалько, Ю. М. Гринюк, О. В. Редька
Національний університет харчових технологій

Реалії сьогодення (спочатку пандемія COVID-19, зараз — війна) вимагають від українських роботодавців більшої гнучкості у використанні людських ресурсів і робочого часу, зокрема шляхом впровадження гнучких робочих графіків, які на сьогодні, за твердженням спеціалістів Міжнародної організації праці, є найбільш популярним форматом гнучкого робочого часу. В ході дослідження авторами уточнено зміст поняття гнучкого робочого графік, спираючись на яке проведено його порівняння із синонімічними, на перший погляд, поняттями позмінного, ковзаючого, вільного, гібридного графіків та банкінгу робочого часу, із виявленням принципових відмінностей та схожих ознак. Узагальнено типові випадки використання гнучких робочих графіків за різних умов організації виробництва і праці на підприємстві, приміром, за нерівномірного робочого навантаження працівника впродовж дня, за високого ступеня залежності виробництва від погодних умов, за наявністю в кадровому складі підприємства батьків малолітніх дітей, здобувачів ЗВО та інші випадки.

Моніторинг нормативно-правової бази України з питань регулювання гнучкого режиму робочого часу дав змогу класифікувати гнучкий робочий графік за строком дії, стадією трудових відносин, ініціатором і фактом повідомлення працівника про його встановлення, схемою розподілу робочого часу впродовж дня для держслужбовців та видами обліку робочого часу.

З метою вдосконалення практики впровадження гнучких робочих графіків у систему HR-управління вітчизняних компаній запропоновано всі можливі його варіанти, як-то: «східчастий» графік із гнучкими годинами, гнучкий робочий день та комбінований як поєднання двох попередніх із частково дистанційною роботою. Кожен із них по-різному розподіляє робочий день (тиждень) працівника з позиції гнучкості, але їх спільною рисою є позитивний вплив на задоволеність персоналу роботою та робочу продуктивність.

Ключові слова: гнучкий робочий графік, гнучкий режим робочого часу, облік робочого часу, робочий день, гнучкі години.

Постановка проблеми. В нещодавньому звіті Міжнародної організації праці (далі — МОП) «Робочий час і баланс роботи та особистого життя в усьому світі» (International Labor Organization, 2023) зазначається, що стандартний 8-годинний робочий день стає все менш поширеним, а дефіцит навичок на деяких розвинених ринках прискорить тенденцію до переходу роботодавців на більш гнучкі моделі організації робочого дня. Причому з усіх робочих моделей, зокрема, стандартного робочого тижня, його стислого формату, позмінної роботи та роботи за викликом («on-call»), схеми усереднення робочих годин з різними варіаціями щоденних і

щотижневих годин роботи, гнучких робочих графіків, саме останню МОП вважає найбільш ефективною для досягнення оптимального work-life balance.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потужним довідковим інструментом для науковців, практиків і директивних органів компаній з усього світу, що стосується питань статистичного обліку робочих годин, відпрацьованих та невідпрацьованих співробітниками компаній у розрізі країн і галузей, причин невідпрацювання, визначення схем організації робочого часу в умовах поширення концепції «флексік'юриті» (flexicurity), серед яких провідне місце належить різним форматам гнучких робочих графіків, є звіти експертів МОП (Messenger, 2018; International Labor Organization, 2023). Проте міжнародний ракурс цієї проблематики не відображає реалій використання гнучких робочих графіків на підприємствах України через особливості вітчизняного трудового законодавства. Незважаючи на очевидний попит їх впровадження серед вітчизняних роботодавців спочатку унаслідок пандемії, зараз — через війну, спостерігаємо інформаційний вакуум з цього питання в науковій літературі. Поодинокі спроби опрацювання поняття гнучкого робочого графіка, його класифікації та різних варіацій побудови знаходимо в наукових працях (Малишевська, 2016; Гафич, 2023), а також у низці досліджень експертів-практиків (Зав'ялова, 2014; Онищенко, 2023). Як складова гнучких режимів робочого часу, особливо в умовах цифровізації економіки, гнучкий робочий графік розглядається в джерелах (Погорелова, 2020; Пойта, Мосійчук, & Калініченко, 2023), однак цього не достатньо, аби в повній мірі розкрити механізм його реалізації та особливості використання на підприємствах за різних умов організації виробництва (послуг) і праці.

Мета статті: формування категорійно-понятійного апарату гнучкого робочого графіка, розкриття законодавчих аспектів, доцільності та варіантів його використання в HR-практиці вітчизняних підприємств.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали законодавчі і нормативно-правові акти з питань регулювання гнучкого режиму (графіка) робочого часу, зокрема з урахуванням змін унаслідок пандемії та воєнного стану, пошук яких здійснювався в базі даних «Законодавство України» Верховної Ради України, а також наукові публікації у провідних періодичних виданнях та експертні огляди фахівців-практиків. Використано загальнонаукові методи дослідження: аналізу та синтезу, порівняння, групування, історико-правовий метод і метод логічного узагальнення.

Викладення основних результатів дослідження. В трудовому праві традиційним є поділ режиму робочого часу на загальний і спеціальний (особливий). Під загальним режимом робочого часу розуміють такий режим роботи на підприємстві, коли працівник виконує свої трудові функції у чітко і рівномірно встановлені продовж п'яти або шестиденного робочого тижня години. Нині це найбільш уживаний режим, адже його вагомою перевагою є те, що роботодавець має змогу чітко простежити фізичну присутність працівників на робочих місцях і безпосередньо оцінити результати їх роботи (Гафич, 2023). Проте в умовах флексибілізації ринку праці та відходу від традиційної моделі повного робочого дня зростає значення спеціальних (особливих) режимів робочого часу, як-то: ненормованого робочого дня, режимів зі змінним графіком і вахтовим методом роботи, а також гнучкі робочі графіки (Гафич, 2023; Малишевська, 2016).

Дефініція гнучкого робочого графіка не закріплена законодавчо, проте її можна вважати тотожною поняттю гнучкого режиму робочого часу, який згідно з нормативно-правовими актами України:

- допускає встановлення підприємством іншого режиму роботи, ніж той, що визначається правилами внутрішнього трудового розпорядку, за умови, що працівник дотримується денної, тижневої або іншої, що встановлена на певний обліковий період, а також передбачає саморегулювання працівником часу початку, закінчення роботи й тривалості робочого часу продовж робочого дня (тиждень, місяць, квартал, рік тощо) норми тривалості робочого часу (стаття 60 (Кодекс законів про працю України, 1971));

- встановлює режим праці із саморегулюванням часу початку, закінчення й тривалості робочого часу продовж робочого дня для деяких категорій працівників, для працівників деяких підприємств або їх структурних підрозділів (пункт 1.2 (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006)).

Зважаючи на положення вітчизняного законодавства, під гнучким робочим графіком розуміємо спеціальний (особливий) режим робочого часу, який дозволяє окремим працівникам (їх групам, категоріям, персоналу підприємства загалом) самостійно за погодженням із роботодавцем регулювати час початку, завершення роботи й тривалість робочого часу продовж робочого дня (зміни).

Часто в теорії і на практиці як синонімічні до гнучкого графіка роботи використовують поняття позмінного, ковзаючого, вільного або гібридного графіків, банкінгу робочого часу, проте щодо деяких із них, з нашого погляду, це не зовсім вірно. Так, позмінний графік встановлюється в умовах змінної роботи. Згідно з листом Міністерства соціальної політики України «Щодо порядку та підстав запровадження багатозмінного режиму роботи, надання відпусток за роботу у вечірню і нічну зміни та доплат за роботу у вечірній час» №493/13/84-16 змінна робота є методом організації праці у дві, три або чотири зміни, який може бути безперервним або з перервами, при якому працівники послідовно змінюють один одного на одних і тих же робочих місцях відповідно до графіка змінності (роботи) і який вводиться на підприємстві у випадках, коли тривалість виробничого процесу перевищує допустиму тривалість щоденної роботи або задля більш ефективного використання обладнання, збільшення обсягів випуску продукції (послуг) (Щодо порядку та підстав запровадження багатозмінного режиму роботи, надання відпусток за роботу у вечірню і нічну зміни та доплат за роботу у вечірній час, 2016). У Кодексі законів про працю України передбачено, що за позмінного графіка роботи (графіка змінності) працівники чергуються в змінах рівномірно в порядку, затвердженому правилами внутрішнього трудового розпорядку, а їхній перехід з однієї зміни в іншу рекомендовано здійснювати через кожний робочий тиждень, визначений таким графіком (стаття 58 (Кодекс законів про працю України, 1971)).

Щодо ковзаючого графіка, то, приміром, Н. С. Сухачова тлумачить його як «різновид гнучкої системи робочого часу, при якій працівник може вибирати час початку роботи в межах певного інтервалу, а час завершення роботи визначається як час її початку плюс кількість годин, які працівник має щодня відпрацювати» (Сухачова, 2017), що етимологічно подібно до визначення гнучкого робочого гра-

фіка. Проте на практиці ковзаючий графік частіше використовується на підприємствах, які працюють у вихідні та/або святкові дні, цілодобово або понад 8 год, зокрема, в супермаркетах, закладах громадського харчування чи індустрії краси, де співробітники відпрацьовують довше, ніж нормативну тривалість робочого часу на день, та мають вихідні у різні дні тижня. Отже, згідно з ковзаючим графіком у працівника щотижнево змінюватимуться дні (години) роботи.

Вакансії з вільним графіком роботи на вітчизняних кадрових порталах пропонують кандидатам повну свободу у виборі початку, кінця і тривалості робочого дня, а також місця виконання робочих обов'язків, а розмір заробітку при цьому залежатиме від кількості відпрацьованих годин, наприклад, як у водіїв сервісів таксі. Щодо гібридного робочого графіка, то він дозволяє працівникам суміщати роботу в офісі (у приміщенні чи на території роботодавця) та дистанційну роботу, якою за чинним законодавством України визнається форма організації праці, за якої працівник виконує роботу поза робочим приміщенням чи територією роботодавця, у будь-якому місці за власним вибором та з використання інформаційно-комунікаційних технологій (стаття 60 (Кодекс законів про працю України, 1971)). Вчений-економіст І. О. Пойта та авторський колектив влучно сформулювали переваги гібридних графіків роботи в сучасних реаліях: надають працівникам більшу гнучкість (можливість обирати оптимальний для себе робочий режим), дозволяють підприємствам зменшити витрати на оренду офісних приміщень, роблять бізнес доступним для талантів з усього світу, забезпечують безпеку персоналу та дозволяють підтримувати бізнес-процеси віддалено в умовах війни (Пойта, Мосійчук, & Калініченко, 2023).

Варто зазначити, що гібридний або вільний графіки вдало комбінуються з гнучким, імовірно тому ці поняття часто об'єднують.

У праці (Погорелова, 2020) однією з форм гнучкого робочого графіка розглядається банкінг робочого часу, який дає змогу працівникам накопичувати години, які відпрацьовані понад нормальну тривалість робочого часу, для застосування їх у майбутньому як вихідного дня. Ця практика зафіксована МОП у деяких європейських країнах, законодавство яких дозволяє співробітникам компаній, працюючи більше годин або днів, приміром, «у сезон», накопичувати «кредитні» години і витратити їх на еквівалентну тривалість відпустки (Messenger, 2018). Проте вважаємо, що згідно з позиціонуванням поняття «гнучкий робочий графік» у трудовому праві України таку практику варто віднести до іншого спеціального режиму робочого часу — ненормованого робочого дня, а її використання відповідно до чинного вітчизняного законодавства не є можливим через заборону компенсації надурочних робіт шляхом надання відгулу, оскільки за це передбачена виключно грошова компенсація у подвійному розмірі годинної ставки чи за відповідної системи оплати праці — в розмірі 100% тарифної ставки працівника відповідної кваліфікації, оплата праці якого здійснюється за погодинною системою (стаття 106 (Кодекс законів про працю України, 1971)).

Доцільність використання гнучких робочих графіків визначається роботодавцем самостійно і залежить від особливостей організації праці та виробництва на кожному конкретному підприємстві. Згідно з (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006) гнучкі

режими робочого часу (гнучкі робочі графіки) не рекомендовано використовувати у таких випадках:

- на виробництвах з безперервним циклом роботи;
- при багатозмінному режимі організації праці, коли до початку або після закінчення зміни відсутні вільні робочі місця;
- у разі несумісності цього режиму (робочих графіків) з вимогами, які гарантують працівникам безпечні умови праці;
- в інших випадках, коли посадові обов'язки працівника потребують його присутності на робочому місці у чітко визначені години (робота транспорту, торговельних підприємств, вантажно-розвантажувальні роботи, сфера обслуговування населення тощо).

Означені вище положення мають рекомендаційний характер і не містять пряму заборону, проте їх варто взяти до уваги, оскільки впровадження гнучких графіків в цих умовах може призвести до порушення нормального циклу виробництва (надання послуг, виконання робіт).

Натомість доцільність застосування гнучких режимів робочого часу (гнучких робочих графіків) розглядається як альтернатива ненормованого робочого дня в тих ситуаціях, коли рівень завантаженості працівника впродовж робочого дня дозволяє йому бути відсутнім на робочому місці у вільний від роботи час для відпочинку і є змога забезпечити йому нормальну тривалість робочого дня, передбачену законодавством (пункт 1.6 (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006)). При цьому рекомендовано розглянути можливість їх використання у випадках (пункт 1.4 (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006)):

- нерівномірного завантаження працівника роботою, коли основний її обсяг припадає на початок або кінець робочого дня;
- те саме, тільки коли він виходить за межі робочого дня (ненормований робочий день);
- роботи громадського транспорту, дошкільних і загальноосвітніх закладів, лікувальних установ, підприємств з побутового обслуговування населення. В цьому пункті бачимо окремі збіги з випадками, у яких ті ж самі норми (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006) не радять застосовувати гнучкі режими робочого часу, проте все залежить від специфіки діяльності підприємств цих сфер;
- значної віддаленості місця роботи працівника від місця його проживання тощо.

Узагальнивши положення з (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006) та поради експертів (Зав'ялова, 2014; Онищенко, 2023), в табл. 1 наведено типові ситуації, в яких підприємствам доцільно використовувати гнучкі робочі графіки.

У цілому означені у табл. 1 випадки впровадження гнучкого робочого графіка сприятимуть налагодженню балансу роботи та особистого життя, відносин із керівництвом, позитивного мікроклімату в колективі через порозуміння з ним, дозволять уникнути непродуктивних витрат часу як додаткових витрат на бюджети компаній.

Таблиця 1. Типові випадки доцільності використання гнучких робочих графіків за різних умов організації виробництва і праці на підприємствах

№	Випадки	Обґрунтування доцільності
1.	Нерівномірне робоче навантаження працівника продовж дня	Виникає в ситуації, коли її основний обсяг припадає на певну частину дня або виходить за її межі. У такий спосіб роботодавець уникає своєрідних «вимушених оплачуваних простоїв», може зекономити операційні витрати на утримання приміщень, оптимально розподілити персонал у «пікові» та «непікові» години
2.	Специфіка виробництва (послуг) не вимагає одночасної присутності всього персоналу на робочих місцях	Для рекламних та PR-агенцій, дизайнерських студій і деяких інших компаній сфери креативних індустрій, де часто бувають періоди, коли графіки роботи працівників не пов'язані з виробничим циклом. Для офісних працівників, коли їх постійна присутність у певні години не потрібна
3.	Процес виробництва суттєво залежить від погодних умов	Унаслідок несприятливих погодних умов на підприємствах, зокрема, сільського господарства (наприклад, злива під час польових робіт), чи будівництва можуть виникнути проблеми з дотриманням графіків роботи. Якщо у підприємства немає можливості перевести працівників на цей час на іншу роботу чи намірів оформити простій, гнучкий графік — єдиний варіант
4.	У кадровому складі є такі категорії працівників:	
4.1.	Батьки малолітніх дітей	Дозволить таким працівникам повноцінно виконувати батьківські обов'язки, які часто збігаються з часом початку і закінчення робочого дня, а роботодавцям — зменшити кількість запізнень і непродуктивних витрат часу через те, що такі працівники відпрошуються
4.2.	Здобувачі ЗВО	Надасть таким працівникам можливість поєднувати роботу і навчання, а роботодавцям — утримати молоді перспективні кадри
4.3.	Топ-менеджери	Цінність цієї категорії працівників не залежить від тривалості їх перебування на робочому місці згідно з графіком. Гнучкий робочий графік розглядається ними як приймний бонус та інструмент певної свободи дій від роботодавця
4.4.	Працівники, які живуть територіально віддалено від роботи та/або маршрут яких сильно залежить від транспортної ситуації	Надасть працівнику можливість діставатись до робочого місця без перешкод і марних витрат часу на дорогу, а переваги для роботодавця такі самі, як у пункті 4.1

Джерело: складено авторами на підставі (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006; Зав'ялова, 2014; Онищенко, 2023) та доповнено самостійно.

Можливість переведення працівників на гнучкий робочий графік має бути передбачена в колективному договорі підприємства або погоджена з виборним органом первинної профспілкової організації, а власне переведення — відбуватись за згодою працівників і оформлюватись документально наказом (розпорядженням) по підприємству із зазначенням конкретних термінів та умов його викорис-

тання, а також фіксуватись у правилах внутрішнього трудового розпорядку (пункти 2.2, 2.8 і 2.9 (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006)). При цьому ініціатором переходу на гнучкий робочий графік може бути як роботодавець, так і працівники (структурний підрозділ) чи профспілкова організація за колективною заявою, яку роботодавець повинен розглянути і прийняти відповідне рішення (пункт 2.6 (Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу, 2006)).

Спираючись на нормативно-правову базу з питань регулювання гнучкого режиму робочого часу і, відповідно, до гнучких робочих графіків, в табл. 2 представлено їх класифікацію.

Таблиця 2. Класифікація гнучкого робочого графіка (гнучкого режиму робочого часу) згідно з чинним законодавством України

№	Ознака класифікації	Види
1.	За строком дії	1.1. Строковий 1.2. Безстроковий
2.	За стадією трудових відносин	2.1. Під час працевлаштування 2.2. У період дії трудових відносин
3.	За ініціатором та фактом повідомлення про встановлення гнучкого робочого графіка працівника	3.1. За заявою працівника, де він зазначає прийнятні часові межі робочого графіка, без його повідомлення. 3.2. За ініціативою роботодавця з повідомленням працівника не пізніше, ніж за 2 місяці про зміну режиму роботи, в разі виробничої необхідності. 3.3. За ініціативою роботодавця з повідомленням працівника впродовж двох днів з дня прийняття наказу (розпорядження) про запровадження гнучкого режиму робочого часу, але не пізніше дня його запровадження в ситуації поширення епідемії, пандемії та/або у разі виникнення загрози збройної агресії і надзвичайних ситуацій. 3.4. За ініціативою роботодавця без повідомлення працівника із поширенням на нього режиму роботи такого роботодавця, що є тимчасовим місцем відрядження працівника
4.	За схемою розподілу робочого часу впродовж дня для держслужбовців	4.1. Фіксований — визначається індивідуальний початок та кінець робочого часу, час початку і закінчення перерви для відпочинку і харчування (при цьому тривалість роботи держслужбовця за днями може відрізнятись від встановленого в держаному органі та/або розбиватись на частини). 4.2. Змінний — відсутній фіксований початок і кінець робочого дня, його тривалість, а її щоденний облік є обов'язковим (при цьому на держслужбовця не поширюється тривалість роботи за днями, що встановлена в держоргані, а за потреби йому можуть визначатись періоди часу обов'язкової присутності на роботі) і тільки з використанням спеціальних комп'ютерних програм
5.	За видами обліку робочого часу	5.1. Зі щоденним (поденним) обліком, коли працівник зобов'язаний дотримуватись певної тривалості робочого дня, встановленої правилами внутрішнього трудового розпорядку, незалежно від його початку, закінчення або тривалості перерви на відпочинок та харчування. 5.2. Зі щотижневим (потижневим) обліком — використовується в умовах неоднакової тривалості щоденної роботи, однак працівник за тиждень повинен відпрацювати встановлену норму робочого часу не більше за 40 годин.

		<p>5.3. З підсумованим обліком – використовується в ситуації, коли завантаженість працівника роботою продовж облікового періоду є нерівномірною, і він повинен у повному обсязі відпрацювати кількість робочих годин, що встановлена законодавством, в обліковому періоді, а недоопрацьовані продовж тижня (місяця) години роботи відпрацювати в інший час, або отримати відповідний час відпочинку, якщо за тиждень (місяць) ним відпрацьовано понад нормальну тривалість робочого часу</p>
--	--	--

Джерело: сформовано авторами з (Кодекс законів про працю України, 1971; Про внесення змін до деяких нормативно-правових актів Національного агентства України з питань державної служби, 2020; Про організацію трудових відносин в умовах воєнного стану, 2022).

Проте зауважимо, що як запровадження, так і скасування гнучкого графіка роботи є зміною істотних умов праці, про яку роботодавець повинен повідомити працівника не пізніше, ніж за 2 місяці (стаття 32 (Кодекс законів про працю України, 1971)), як це відбувається в пункті 3.2 табл. 2 щодо процедури його встановлення в разі виробничої потреби. Законом України (Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення правового регулювання дистанційної, надомної роботи та роботи із застосуванням гнучкого режиму робочого часу, 2021) унаслідок пандемії того часу строк повідомлення працівника про зміну гнучкого робочого графіка в пункті 3.3 було встановлено на рівні двох днів, навіть незважаючи на зміну істотних умов праці. За порушення гнучкого режиму (графіка) робочого часу, крім дисциплінарних стягнень, передбачено переведення працівника на загальний режим роботи без дотримання вимоги щодо його попереднього повідомлення про це (стаття 60 (Кодекс законів про працю України, 1971)). Означені законодавчі норми, на думку деяких дослідників, можуть дозволити роботодавцю зловживати робочим часом працівника та носити елементи мобінгу (Кожушко, 2021).

В умовах організації на підприємстві гнучкого робочого графіка необхідно врахувати три складові робочого часу, на які може поділятися робочий день (зміна) працівника, а саме (Кодекс законів про працю України, 1971; Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення правового регулювання дистанційної, надомної роботи та роботи із застосуванням гнучкого режиму робочого часу, 2021):

1) фіксований час — час, продовж якого працівник має бути присутнім на робочому місці і виконувати обов'язки за посадою. Основним його призначенням є стиковка часу роботи працівника за гнучким графіком з режимом роботи інших працівників;

2) змінний час — час, продовж якого працівник визначає періоди роботи в межах встановленого нормативу тривалості робочого часу на власний розсуд. Частіше використовуються 1—2 год перед початком чи закінченням зміни та час перерви;

3) час перерви для відпочинку і харчування — час, вільний від роботи, який працівник використовує на власний розсуд і продовж якого він може бути відсутнім на робочому місці. Час цієї перерви не включається до складу робочого часу.

Якщо роботодавець переводить працівників (всіх, частину, в окремих випадках) на гнучкий робочий графік, йому необхідно узгодити час їх роботи з роботою інших шляхом регулювання означених вище складових робочого часу, зважаючи на структуру робочого дня та встановлений обліковий період кожного з переведених чи їх групи.

Оскільки гнучкий робочий графік є частиною концепції балансу роботи і особистого життя, що безпосередньо впливає на задоволеність персоналу роботою на підприємстві, а також має очевидний вплив на продуктивність праці через врахування біологічних ритмів кожного окремого співробітника і, як наслідок, більш високого рівня концентрації на робочих завданнях, його впровадження поступово увійшло до складу функціональних обов'язків HR-спеціалістів. Усе частіше перед ними постає питання варіативних схем його побудови, які б задовольнили максимально широкий спектр запитів працівників різних категорій, професій, управлінських ланок, соціально-демографічних груп.

Дослідивши норми трудового законодавства України, в табл. 3 ми узагальнили всі можливі варіанти організації гнучкого робочого графіка в HR-практиці підприємств.

Таблиця 3. Варіанти використання гнучких робочих графіків в HR-практиці підприємств

№	Варіант гнучкого графіка	Схема і приклади використання
1.	Гнучкі години («східчастий» графік)	Пересунення часу початку і закінчення робочого дня з певними часовими інтервалами («сходами») на вибір працівника <i>Приклад:</i> фіксований робочий час з 9 ⁰⁰ до 17 ⁰⁰ (з обідньою перервою продовж 13 ⁰⁰ —14 ⁰⁰) та змінний робочий час з 08 ⁰⁰ до 09 ⁰⁰ , що дозволяє працівнику обрати такі варіанти гнучких годин початку і закінчення роботи: 08 ⁰⁰ —17 ⁰⁰ , 08 ³⁰ —17 ³⁰ , 09 ⁰⁰ —18 ⁰⁰
2.	Гнучкий робочий день	Поділ робочого дня на частини фіксованого і змінного часу різної тривалості або різна тривалість щоденної роботи продовж робочого тижня <i>Приклад:</i> при поділі робочого дня на частини підприємство може встановити фіксований робочий час у діапазонах 09 ⁰⁰ —13 ⁰⁰ та 16 ⁰⁰ —18 ⁰⁰ (з обідньою перервою продовж 13 ⁰⁰ —16 ⁰⁰), а змінний — в проміжках 13 ⁰⁰ —16 ⁰⁰ та 18 ⁰⁰ —20 ⁰⁰ , які працівник використовує на власний розсуд (працює всередині робочого дня або не працює, вирішуючи власні справи, і закінчує пізніше). Також працівник може мати різну тривалість щоденної роботи впродовж робочого тижня: з понеділка по четвер — 10 год, п'ятниця — вихідний, або понеділок—середа — 9 год, четвер — 8 год, п'ятниця — 5 год тощо
3.	Комбінований	Комбінування працівником варіанта гнучких робочих годин, гнучкого робочого дня та/або частково дистанційної роботи <i>Приклад:</i> певні дні робочого тижня працівник має відпрацювати в офісі за встановленим гнучким графіком, решту — віддалено, або підприємство встановлює для працівника фіксований час роботи, впродовж якого він має бути на робочому місці, а решту часу відпрацьовує дистанційно.

Джерело: складено автором відповідно норм чинного законодавства України (Кодекс законів про працю України, 1971; Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення правового регулювання дистанційної, надомної роботи та роботи із застосуванням гнучкого режиму робочого часу, 2021).

При використанні схеми гнучких годин і гнучкого робочого дня з його поділом на частини має бути дотримана нормативна тривалість щоденної роботи (8 год), а при різній тривалості щоденної роботи — її тижневий норматив (40 год).

Впровадження гнучкого робочого графіка за будь-якою із наведених схем не призводить до жодних змін у системі нормування й оплати праці персоналу на підприємстві, і не обмежує їх трудові права порівняно з працівниками, щодо яких такі графіки не застосовуються.

Висновки

Незважаючи на відсутність поняття гнучкого робочого графіка в законодавчих і нормативно-правових України і, водночас, керуючись нагальною потребою його впровадження на підприємствах унаслідок цифрових трансформацій, які здійснюють потужний вплив на організацію робочого часу, необхідності досягненні балансу роботи й особистого життя, що вкрай актуально у постпандемічний період і для персоналу підприємств країни, яка перебуває у стані війни, сформовано його категорійно-понятійний апарат за такими блоками: зміст поняття, обґрунтування доцільності впровадження за різних умов організації виробництва і праці, класифікація, варіанти використання в HR-практиці. Подальший розвиток тематики статті передбачає більш глибоке вивчення авторами взаємозв'язку гнучкого робочого графіка із задоволеністю персоналу та робочою продуктивністю, спираючись не лише на наукові доробки в цій сфері, але й на результати соціологічних досліджень та міжнародної HR-аналітики.

Література

Гафич, О. І. (2023). Застосування гнучкого режиму робочого часу у порівнянні з іншими видами спеціальних режимів робочого часу. *Аналітично-порівняльне правознавство: електронне наукове фахове видання*, 5, 775—780. doi:10.24144/2788-6018.2023.05.139.

Зав'ялова, О. (2014). Вільний графік для «топів». Взято з <https://uteka.ua/ua/publication/commerce-12-zarplaty-i-kadry-3-svobodnyj-grafik-dlya-topov>.

Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення правового регулювання дистанційної, надомної роботи та роботи із застосуванням гнучкого режиму робочого часу». (2021). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1213-20>.

Закон України «Про організацію трудових відносин в умовах воєнного стану». (2022). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2136-20>.

Кодекс законів про працю України. (1971). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08>.

Кожушко, С. (2021). Прескрипції в трудовому праві. *Кухня трудових прав: нариси про важливі інгредієнти: збірник статей*, 39—44. Взято з <https://trudovi.org/textEditor/Kuhnia%20trudovykh%20prav.pdf>.

Лист Міністерства соціальної політики України «Щодо порядку та підстав запровадження багатозмінного режиму роботи, надання відпусток за роботу у вечірню і нічну зміни та доплат за роботу у вечірній час». (2016). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v4-16739-16>.

Малишевська, З. Я. (2016). Класифікація режиму робочого часу. *Підприємництво, господарство і право*, 2, 82—86. Взято з http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pgip_2016_2_17.

Наказ Міністерства праці та соціальної політики України «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо встановлення гнучкого режиму робочого часу». (2006). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0359203-06>.

Наказ Національного агентства України з питань державної служби «Про внесення змін до деяких нормативно-правових актів Національного агентства України з питань державної служби». (2020). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0984-20>.

Онищенко, В. (2023). Гнучкий режим роботи. Взято з <https://oblikbudget.com.ua/article/1071-gnuchkiy-rejim-roboti>.

Погорелова, О. С. (2020). Напрями реформування трудового законодавства в умовах поширення цифрової роботи. *Право та державне управління*, 4, 43—50. doi: <https://doi.org/10.32840/pdu.2020.4.6>.

Пойга, І. О., Мосійчук, І. В., & Калініченко, О. О. (2023). *Український бізнес на шляху до модернізації: гібридний формат роботи, штучний інтелект та ментальне здоров'я співробітників*, II International scientific and practical conference «Modern Approaches to Problem Solving in Science and Technology». Warsaw, Poland, International Science Unity. Взято з <http://eprints.zu.edu.ua/38643/1/st.pdf>.

Сухачова, Н. С. (2017). Особливості перекладу термінів англомовної терміносистеми менеджменту. *Молодий вчений*, 12 (52), 266—270. Взято з <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2017/12/61.pdf>.

International Labor Organization. (2023). *Working Time and Work-Life Balance Around the World*. Geneva: International Labour Office. 177 p. Взято з https://www.ilo.org/ankara/publications/WCMS_864222/lang--en/index.htm.

Messenger, J. (2018). *Working time and the future of work : ILO future of work research paper series*. International Labour Office — Geneva: ILO. Взято з https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---cabinet/documents/publication/wcms_649907.pdf.

EFFICIENCY OF THE STEAM-CONTACT DRYER FOR BEET PULP IN THE ENERGY COMPLEX "SUGAR PLANT — CHP PLANT"

V. Filonenko

National University of Food Technologies

Key words:

Sugar factory
Pulp drying
Superheated steam
Thermal power plant,
electric energy
Thermal energy
Energy efficiency
Economic efficiency

Article history:

Received 03.07.2024
Received in revised form
19.07.2024
Accepted 13.08.2024

Corresponding author:

V. Filonenko
E-mail:
ipren@ukr.net

Citation: Філоненко В. М. (2024). Ефективність пароконтактної сушарки жому в енергетичному комплексі «Цукровий завод — ТЕЦ». *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 106—122.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-10

ABSTRACT

The results of an experimental and analytical study of two negative consequences for a sugar factory, which are caused by the introduction of a steam contact pulp drying unit (SCPD), that uses steam from steam boilers, and their analysis in the energy and thermal engineering aspects are presented in the article.

A quantitative assessment of the influence of the operational parameters of the "Sugar Plant — CHP" complex on the energy, heat engineering and financial efficiency of the operation of the SCPD is provided. The results were obtained on the basis of the created methodology of thermal energy calculation of systems of generation and use of thermal and electrical energy of the sugar factory.

Scientifically based technical solutions for the electricity generation system at the thermal power plant and for the steam consumption system at the sugar factory have been developed, the implementation of which compensates for the negative impact of the introduction of the SCPD, and returns the energy and heat consumption systems of the plant to their previous levels of efficiency.

The results of the conducted research are:

- establishing the quantitative dependence of the underproduction of electric energy by CHP turbine units on the parameters of energy steam (pressure, temperature, enthalpy), on the specific consumption of thermal energy for beet processing in the sugar factory and on the consumption of energy steam due to the installed in CHP reduction and cooling unit (RCU);

- scientific and technical substantiation of the reduction of the need for electric energy of the SCPD in the event of an increase in the temperature of the circulating steam — the pseudo-liquefaction and drying agent of the pulp, which allows to reduce the underproduction of electricity by the existing turbo-units of the CHP of the sugar factory;

- the thermal engineering advantage of using a design of two stages "convective-condensation" steam superheater of recirculating steam of the SCPD to increase its temperature is substantiated.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-10

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПАРОКОНТАКТНОЇ СУШАРКИ ЖОМУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ КОМПЛЕКСІ «ЦУКРОВИЙ ЗАВОД — ТЕЦ»

В. М. Філоненко

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати експериментального та аналітичного дослідження двох негативних наслідків для цукрового заводу, які потребують впровадження установки пароконтактного сушіння жому (ПКСЖ), що використовує енергетичну пару парових котлів, та їх аналізу в енергетичному та теплотехнічному аспектах.

Наведено кількісну оцінку впливу експлуатаційних параметрів комплексу «Цукровий завод — ТЕЦ, на енергетичну, теплотехнічну та фінансову ефективність експлуатації ПКСЖ. Результати одержані на основі створеної методики стичного теплоенергетичного розрахунку систем генерації та використання теплової й електричної енергії цукрового заводу.

Сформовано науково обґрунтовані технічні рішення для системи генерації електроенергії в ТЕЦ та для системи споживання пари цукровим заводом, реалізація яких компенсує негативний вплив впровадження ПКСЖ, та повертає системам енерго- та теплоспоживання заводу їх попередні рівні ефективності.

Результатами проведеного дослідження є:

- встановлення кількісної залежності недовироблення електричної енергії турбоагрегатами ТЕЦ від параметрів енергетичної пари (тиску, температури, ентальпії), від питомого споживання теплової енергії на перероблення буряку в цукровому заводі та від витрати енергетичної пари через встановленої в ТЕЦ редуційно-охолоджувальну установку (РОУ);

- науково-технічне обґрунтування зменшення потреби ПКСЖ в електричній енергії у разі підвищення температури циркуляційної пари — псевдозріджуючого і сушильного агента жому, що дає змогу зменшити недовироблення електроенергії існуючими турбоагрегатами ТЕЦ цукрового заводу;

- обґрунтовано теплотехнічну перевагу використання конструкції двоступеневого «конвективно-конденсаційного» пароперегрівника рециркуляційної пари ПКСЖ для підвищення її температури;

- наведено науково-технічне обґрунтування доцільності багатоступеневого використання пари самовипаровування конденсату вторинної пари ПКСЖ у системі відбору пари з корпусів випарної установки заводу.

Ключові слова: цукровий завод, сушіння жому, перегріта пара, теплоелектроцентрально, електрична енергія, тепла енергія, енергетична ефективність, економічна ефективність.

Постановка проблеми. Впровадження в систему енерготехнологічного комплексу цукрового заводу технології пароконтактного сушіння жому (ПКСЖ) перегрітою енергетичною парою створює ряд експлуатаційних проблем енергетичного й теплотехнічного характеру.

Завдання, що постає перед службою енергетичного менеджменту цукрового заводу, полягає в недопущенні погіршення показників ефективності системи генерації електричної енергії в ТЕЦ та системи теплоспоживання заводу в разі впровадження ПКСЖ в його енергетичний комплекс.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційною для цукрової галузі технологією сушіння жому є газова технологія на основі використання гарячих (800—900) °С продуктів згоряння палива, як правило, природного газу, в сушильних барабанах. Означена технологія гарантує отримання жому належної вологості (не нижче 88% СР), але пов'язана з втратою теплової енергії випареної з жому вологи в навколишнє середовище.

Витрата природного газу на одну тону отриманого сухого жому в барабанній сушарці з ККД 80,7%, а, відповідно, його втрата в навколишнє середовище, становить не менше 250,0 м³/т с.ж. (Штангеев, 2015).

Вартість палива, використаного для сушіння, суттєво підвищує собівартість сухого жому. На початку 90-х років минулого століття на ринку енерготехнологій сушіння з'явилася енергоефективна пароконтактна технологія сушіння жому (ПКСЖ) в псевдозрідженому шарі високотемпературною (170—260) °С перегрітою водяною парою, для одержання якої використана високотискова (17—35) бар і високотемпературна (350—435) °С енергетична пара, що використовується в паротурбінних енергетичних установках для генерації електричної енергії.

Енергетична ефективність пароконтактної технології сушіння жому полягає в тому, що тепла енергія випареної з жому води у вигляді насиченої водяної пари не втрачається в навколишнє середовище, а використовується в системі споживання теплової енергії цукрового заводу. Тобто пароконтактна технологія сушіння жому, на противагу газовій технології його сушіння, завдяки використанню специфічної теплопередачі, не потребує витрати палива на випаровування води з жомової маси, виступаючи аналогом редуційно-охолоджувальній установці (РОУ), що суттєво зменшує собівартість сухого жому.

Специфічність теплопередачі в ПКСЖ полягає у використанні проміжного теплоносія для передачі теплової енергії від енергетичної пари до вологої жомової маси.

Проміжним енергоносієм у системі пароконтактного сушіння жому є потік циркулюючої перегрітої водяної пари, сформованої в сушильній камері ПКСЖ з випареної з жому вологи. Циркулююча пара, отримавши значний перегрів у теплообмінній поверхні пароперегрівника, уникаючи конденсації під час контакту з вологим жомом, передає жомовій масі необхідний для випаровування вологи обсяг теплової енергії за рахунок зниження свого перегріву від (240—280) °С до (140—150) °С.

Високонапірний вентилятор ПКСЖ створює потік рециркуляційної пари через псевдозріджений шар жомової маси над паророзподільною решіткою зі швидкістю в межах першої та другої критичних швидкостей, формує стан «киплячого» шару.

Зріджувальним і одночасно сушильним агентом у сушильному агрегаті слугує перегріта до температури (200—230) °С в пароперегрівнику ПКСЖ рециркуляційна водяна пара під тиском 3,4—3,8 бар. Експлуатаційний тиск рециркуляційної пари задовольняє технологію пароконтактного сушіння, гарантує стабільність

псевдозрідженого шару жому і відповідає тиску технологічної пари, що використовується цукровим заводом.

Оскільки теплова енергія перегріву пари суттєво, в (6—11) раз нижча за її теплоту конденсації, внаслідок низької теплоємності водяної пари — 2,2 кДж/(кг·К), то масова витрата сушильного агента (циркулюючої пари) у 8—11 разів перевищує витрату випареної з жому вологи. З огляду на вищенаведене, для пароконтактної сушарки жому виникає потреба в потужному (1200—1800) кВт напірному вентиляторі для здійснення рециркуляції значних (300—350) м³/год, потоків рециркуляційної пари.

Наявні у відкритих джерелах інформації публікації щодо експлуатаційних параметрів та умов експлуатації ПКСЖ надають повне уявлення про технічні рішення, за якими сформована і має функціонувати енерготехнологія пароконтактного сушіння жому та рівень експлуатаційних параметрів енергоносіїв системи. Технічна сутність і обґрунтування переваг пароконтактної технології сушіння жому наведені в публікації її конструктора (Jensen, 1995).

Механізм теплообміну і проблеми моделювання пароконтактної технології сушіння пресованого жому цукрових буряків у перегрітій парі стали об'єктом комплексного дослідження німецьких дослідників, результати яких відображені в частині 1 та частині 2 монографії (Bunert, & Schliephake, 1999).

Подальше удосконалення пароконтактної технології сушіння здійснювалося в розробках авторів пароконтактоної технології (Jensen, 2005; Jensen, 2007; Jensen, & Larsen, 2014; Jensen, & Morin, 2015;).

Питання визначення швидкості сушіння і гідродинамічних характеристик псевдозрідженого шару і розподілу частинок висушеного матеріалу за розміром з метою формування системи гравітаційної сепарації продукту були предметом розгляду в (Pakowski, & Adamski, 2011; Polanco, Kochergin, & Alvarez, 2013). Питання застосування перегрітої пари для сушіння ряду харчових продуктів — (Karimi, 2010), целюлози — (Kaspers, Hammert, Fersterra, Hafeman, & Lenberger, 2013). Проблеми впливу контакту перегрітої пари на якість висушуваних продуктів розглянуті в (Sehrawat, Nema, & Kaur, 2016).

Порівняльному аналізу парової і газової технології сушіння жому присвячена публікація (Василенко, Бессараб, & Шутюк, 2014). Результати моделювання кінетики сушіння бурякового жому в перегрітій парі під тиском вітчизняної групи дослідників наведені в (Шутюк, Василенко, & Бут, 2024).

Аналіз виявлених публікацій засвідчив, що предметом досліджень їх авторів є або маркетинговий аспект проблеми завоювання ринку енерготехнологій сушіння жому, тобто формування переваг пароконтактної технології над газовою технологією сушіння жому, або внутрішньосистемні гідромеханічні, теплотехнологічні, теплообмінні, аеродинамічні та інші процеси.

Зазначені публікації не містять результатів досліджень, результати яких вказували б на наявність будь-якого негативного впливу впровадження ПКСЖ в теплову схему цукрового заводу, аналізу наслідків цього впливу та напрямів зменшення або уникнення цих наслідків.

Мета дослідження: мінімізація негативного впливу на енергетичну ефективність системи генерації електричної енергії в ТЕЦ та системи споживання тепло-

вої енергії цукрового заводу у разі впровадження в його енерготехнологію установки пароконтактного сушіння жому, що використовує енергетичну пару парових котлів, а також науково-технічне обґрунтування технічних рішень для відповідної реконструкції теплової схеми цукрового заводу, реалізація яких гарантує збереження її показників енергетичної ефективності на незмінному рівні.

Матеріали і методи. Предметом дослідження статті є результати взаємодії в енерготехнологічному комплексі «Цукровий завод — ТЕЦ» двох енерготехнологій — цукрового виробництва і пароконтактного сушіння жому, що використовує енергетичну пару парових котлів.

Сучасні наукові публікації, що стосуються експлуатації установки з пароконтактного сушіння жому (ПКСЖ), та реальний енерготехнологічний комплекс «Цукровий завод — ТЕЦ», в який впроваджено ПКЖС, що використовує енергетичну пару парових котлів ТЕЦ.

Методами дослідження є аналіз і використання балансових рівнянь потоків електричної, теплової енергії та водяної пари в установках енерготехнологічного комплексу «ТЕЦ — ПКСЖ — цукровий завод», математичне моделювання установок та експериментальне визначення експлуатаційних параметрів комплексу.

Результати і обговорення. За результатами проведеного аналізу публікацій і власних досліджень енерготехнології пароконтактного сушіння жому перегрітою водяною парою низького (технологічного) тиску встановлено, що впровадження ПКСЖ має на меті суттєву економію палива для заводського комплексу в цілому.

При цьому енергоємність заводу, тобто витрати технологічної пари, теплової енергії і палива на перероблення буряку мають лишатися не меншими за їх рівень до впровадження ПКСЖ.

Водночас пароконтактна технологія сушіння жому має два суттєвих енергетичних недоліки:

- потребує вилучення для перегрівання рециркуляційної пари значної витрати енергетичної пари з паросилового циклу ТЕЦ, що створює недовироблення значного обсягу електроенергії власної генерації, а, відповідно, потребу в закупівлі за ринковою ціною її еквівалентного обсягу в районній енергосистемі (РЕС);

- генерує суттєвий обсяг теплової енергії вторинних енергоресурсів (ВЕР), зокрема теплової енергії конденсату енергетичної пари й теплової енергії конденсату вторинної пари, використання яких у системі теплоспоживання заводу призводить до збільшення питомої витрати пари, теплової енергії та палива на перероблення буряку, відповідно, $d_{техн}$, $q_{техн}$, $b_{техн}$, та зменшення паропродуктивності випарної установки — $W_{ВУ}$.

З метою кількісної оцінки негативного впливу впровадження ПКЖС на енергоефективність системи генерації електричної енергії в ТЕЦ та споживання теплової енергії в цукровому заводі виконано прогностичне моделювання наслідків впровадження ПКСЖ на основі створеної статичної математичної моделі енерготехнологічного комплексу «Цукрозавод — ТЕЦ».

Першим аспектом негативного впливу впровадження ПКСЖ є зменшення потужності виробленої електричної енергії турбоагрегатами ТЕЦ — $\Delta W_{ТЕЦ}^{недо}$, кВт, внаслідок відбору для ПКСЖ частини енергетичної пари парових котлів, що направлена на паротурбінну установку для генерації електричної енергії — $D_{ПКСЖ}^{e.n}$, т/год,

Результати дослідження засвідчили:

- що витрата пари $D_{ПКСЖ}^{e.n}$ суттєво залежить витрати енергетичної пари для цукрового заводу через редуційного-охолоджувальну установку ТЕЦ (РОУ) — $D_{РОУ}^{e.n}$ і зменшується відносно регламентної її потреби — $(D_{ПКСЖ}^{e.n})^{рег}$ у разі зростання $D_{РОУ}^{e.n}$;

- а витрата пари $D_{РОУ}^{e.n}$, суттєво залежить від ефективності систем споживання теплової та електричної енергії цукровим заводом, зокрема від питомого споживання теплової енергії на перероблення цукрового буряку — $q_{факт}$, питомої витрати електричної енергії на перероблення буряку — $e_{факт}$, та питомої витрати енергетичної пари на генерацію електроенергії турбоагрегатами ТЕЦ — $d_{ТА}^{e.n}$.

Відповідно, потужність недовиробленої електроенергії в ТЕЦ — $\Delta W_{ТЕЦ}^{недо}$, кВт, внаслідок впровадження ПКСЖ, слід визначати за формулою:

$$\Delta W_{ТЕЦ}^{недо} = 1000 \cdot [(D_{ПКСЖ}^{e.n})^{рег} - D_{РОУ}^{e.n}] / d_{ТА}^{e.n}, \quad (1)$$

де 1000 — коефіцієнт, що корелює співвідношення одиниць виміру витрати пари, кг/т;

$D_{ПКСЖ}^{e.n})^{рег}$ — годинна витрата гострої пари на ПКСЖ, т/год. Визначається технологічним регламентом експлуатації агрегату ПКСЖ;

$D_{РОУ}^{e.n}$ — годинна витрата гострої пари через РОУ, т/год. Визначається теплоенергетичним розрахунком ТЕЦ цукрового заводу з урахуванням значень $q_{факт}$, $e_{факт}$, $d_{ТА}^{e.n}$;

$d_{ТА}^{e.n}$ — питома витрата гострої пари на генерацію електричної енергії в ТЕЦ, кг/(кВт·год). Визначається співвідношенням параметрів гострої і відпрацьованої пари та системою експлуатаційних ККД турбоагрегатів.

Залежність регламентної потреби ПКСЖ — $(D_{ПКСЖ}^{e.n})^{рег}$, т/год, від частки жому, направленої для сушіння — $G_{ж}^{суш}$, %, для цукрового заводу потужністю 7000 т буряку на добу наведена на рис. 1.

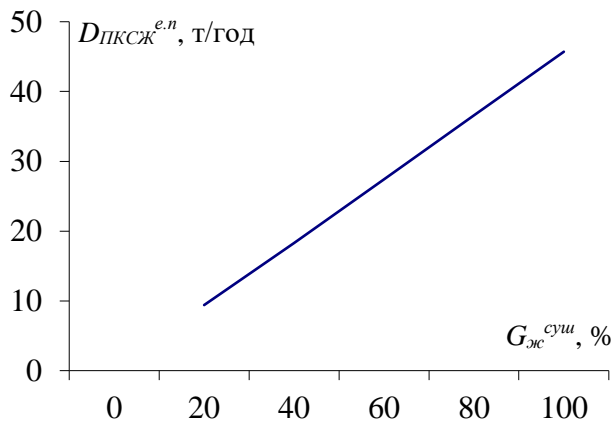


Рис. 1. Потреби ПКСЖ в енергетичній парі — $D_{ПКСЖ}^{e.n}$, т/год, залежно від частки жому, направленої на сушіння в ПКСЖ — $G_{ж}^{суш}$, %, для цукрового заводу потужністю 7000 т буряку/добу

Результати дослідження проблеми недовироблення електричної енергії в ТЕЦ цукрового заводу потужністю 7000 т буряку на добу внаслідок відбору для ПКСЖ енергетичної пари засвідчили:

- недовироблення електроенергії власної генерації в ТЕЦ — $W_{недов}^{ТЕЦ}$, кВт, для енергоефективного заводу, що досяг гранично-мінімальної питомої витрати теплової енергії на перероблення буряку — $q_{гран}^{min}$ (174,4, Мкал/т буряку), а ТЕЦ заводу не має пропуску енергетичної пари через редуційно-охолоджувальну установку (РОУ), суттєво залежить від параметрів (тиску та температури) енергетичної пари і може досягати рівня 4200—7600 кВт. Відповідна графічна залежність наведена на рис. 2.

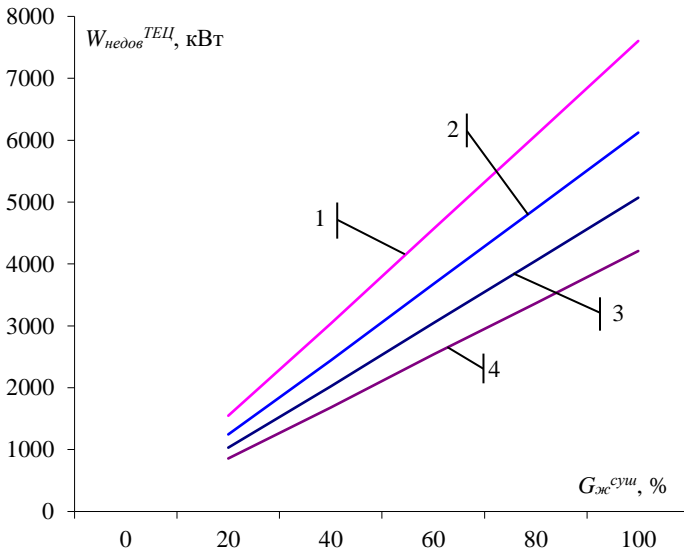


Рис. 2. Залежність потужності недовиробленої в ТЕЦ електроенергії — $\Delta W_{недов}^{ТЕЦ}$, кВт, від початкових параметрів енергетичної пари — p_o , бар / t_o , °C, для енергоефективного цукрового заводу виробничою потужністю 7000 т буряку на добу, від частки жому, направленої на сушіння в ПКСЖ — $G_{жк}^{суш}$, %, p_o/t_o : 1 — 85/525; 2 — 43/450; 3 — 35/435; 4 — 21/370

Гранично-мінімальні питомі витрати теплової енергії на перероблення буряку — $q_{гран}^{min}$, Мкал/т буряку, і їх залежність від фактичного питомого споживання електричної енергії на перероблення буряку — $e_{гран}^{факт}$, кВт·год/т буряку, для цукрових заводів сформовано в (Філоненко, & Бірюков, 2002; Філоненко, 2004).

Визначальними параметрами для формування $D_{РОУ}$, відповідно до методики енергетичного розрахунку ТЕЦ, є параметри (тиск і температура) енергетичної пари ТЕЦ — p_o/t_o , бар/°C.

Графічна залежність для очікуваної витрати пари через РОУ — $D_{РОУ}$, т/год, від параметрів гострої пари — p_o/t_o , бар/°C, отримана за результатами моделювання варіантів ТЕЦ для недостатньо ефективного цукрового заводу потужністю 7000 т буряку на добу, що має питому витрату теплової енергії — 963,0 МДж/т буряку

(229,3 Мкал/т буряку) і питоме споживання електроенергії — 30,0 кВт·год/т буряку, наведена на рис. 3.

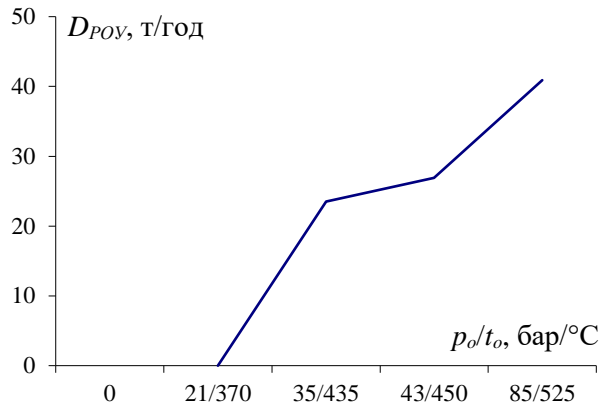


Рис. 3. Залежність витрати енергетичної пари через РОУ в ТЕЦ від її початкових параметрів — p_o/t_o , бар/°C, для недостатньо ефективного цукрового заводу потужністю 7000 т буряку на добу

Результати дослідження засвідчують, що за умови зростання початкових параметрів енергетичної пари від 21/370 бар/°C до 85/525 бар/°C, її витрата через РОУ зростає від 0,0 т/год до 40,9 т/год. Таким чином створюється суттєвий ресурс енергетичної пари для перенаправлення її в турбоагрегат для вироблення додаткового обсягу електроенергії власної генерації. Таке рішення обумовить суттєве зниження (до повного уникнення) недовироблення електроенергії в ТЕЦ.

Результат дослідження цієї проблеми засвідчив, що для цукрового заводу потужністю 7000 т буряків/добу:

- у разі підвищення параметрів гострої пари до рівня 43 бар/450 °C пропуск енергетичної пари через РОУ становитиме 26,9 т/год, що гарантує додаткове вироблення 3200 кВт електроенергії власної генерації і суттєве зменшення недовироблення електроенергії в ТЕЦ;

- у разі підвищення параметрів гострої пари до рівня 85 бар/525 °C пропуск енергетичної пари через РОУ становитиме 40,9 т/год, що гарантує додаткове вироблення 6390 кВт електроенергії власної генерації і повне уникнення та недовироблення власної електроенергії, і закупівлі електроенергії в РЕС.

Розрахунки засвідчили, що недовироблення електроенергії в ТЕЦ цукрового заводу потужністю 7000 т буряків на добу може становити до 4155 кВт. Водночас електрична потужність, яку споживає ПКСЖ, суттєво менша і становить (за паспортом) — 1800 кВт. Тобто недовироблення електроенергії власної генерації в ТЕЦ з параметрами енергетичної пари 35 бар/435 °C, яка, практично, не має пропуску пари через РОУ — 4155 кВт, значно (в 2,3 раза) перевищує витрату електроенергії на електропривод напірного вентилятора і допоміжних пристроїв ПКСЖ — 1800 кВт.

А оскільки потреба в закупівлі електроенергії в РЕС повинна компенсувати і недовироблення електроенергії в ТЕЦ, і потребу в електроенергії ПКСЖ, то в разі номінального завантаження ПКСЖ необхідний обсяг закупівлі електроенергії в РЕС становитиме 5955 кВт, тобто в 3,3 раза більше, ніж потреба ПКСЖ.

Відповідно, витрати коштів на закупівлю електроенергії від РЕС втричі перевищують витрату коштів на електроенергію для самої ПКСЖ.

На рис. 4 наведено графічні залежності:

- для потужності недовиробленої електричної енергії в ТЕЦ з параметрами енергетичної пари 35 бар/435° С — $\Delta W_{ТЕЦ}^{недо}$, кВт;
- для потужності електричної енергії, потрібної для експлуатації ПКСЖ — $W_{ПКСЖ}^{номр}$, кВт;
- для потужності електроенергії, прийнятої від РЕС, для компенсації двох вищезначених потреб — $W_{РЕС}$, кВт;
- залежно від частки жому, направленою на сушіння — $G_{жс}^{суш}$, %, для цукрового заводу виробничою потужністю 7000 т буряку на добу.

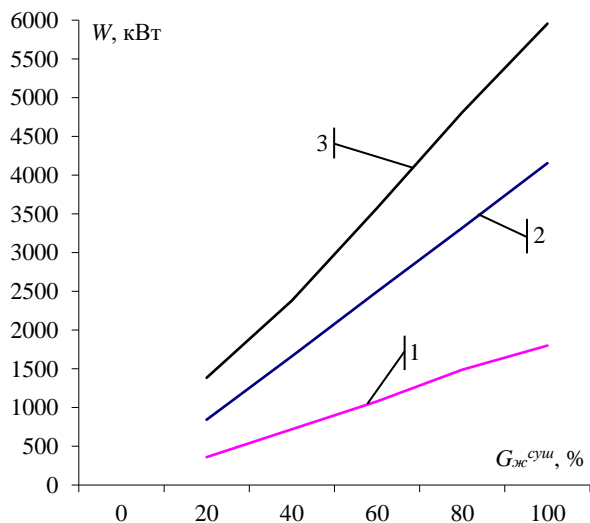


Рис. 4. Залежність потужності недовиробленої електричної енергії внаслідок відбору енергетичної пари на ПКСЖ від частки жому, направленою на сушіння: 1 — потужність електроенергії, що потребує ПКСЖ — $W_{ПКСЖ}^{номр}$, кВт; 2 — потужність недовиробленої електроенергії в ТЕЦ — $W_{ТЕЦ}^{недо}$, кВт·год/год; 3 — потужність електроенергії від РЕС, що має компенсувати обидві статті її витрати — $W_{РЕС}$, кВт

Технічними рішеннями, реалізація яких зменшить недовироблення власної електроенергії в ТЕЦ, є:

- перехід на параметри енергетичної пари (до 85 бар/525 °С) із відповідною заміною парогенераторів і парових турбін, рішення, яке кардинально зменшує недовироблення (до його уникнення);

- зменшення потреби ПКСЖ в електричній енергії за рахунок зменшення витрати рециркуляційної пари і відповідного зменшення електричної потужності електропривода напірного вентилятора.

У разі неможливості реалізувати сформульовані вище напрями реконструкції об'єктів недовироблення електроенергії власної генерації в ТЕЦ і закупівля значних обсягів електроенергії від РЕС залишаються на фактичному рівні.

Ефективним технічним рішенням в напрямку зменшення недовироблення електроенергії є зменшення потреби ПКСЖ в електроенергії на привод високонапірного вентилятора шляхом зменшення кількості рециркуляційної пари до межі, що забезпечує швидкість рециркуляційної пари, достатньої для створення і існування стабільної структури шару жому над паророзподільною решіткою.

Зменшення витрати рециркуляційної пари можливо досягти за рахунок підвищення її температури в пароперегрівнику за умови використання двосекційного пароперегрівника, сформованого послідовно з «конденсаційної» та «конвективної» секцій, в якому реалізовано технологію перегріву рециркуляційної пари вище температури конденсації (насичення) енергетичної пари.

У пароперегрівнику такої конструкції рециркуляційна пара має можливість досягти температури, що перевищує температуру конденсації енергетичної пари на десятки градусів, завдяки реалізації чисто конвективної, без фазового переходу і без утворення плівки конденсату на поверхні теплообміну в його «конвективній» секції.

Максимальна температура перегріву рециркуляційної пари в двосекційному пароперегрівнику визначається за балансовим рівнянням:

$$t_{pec}^{six} = t_{e.n}^{nac} + (t_{e.n}^{nac} - t_{pec}^{ex}) \cdot (h_{e.n} - h_{e.n}^{nac}) / r_{e.n}, \quad (2)$$

де t_{pec}^{ex} , t_{pec}^{six} — температура рециркуляційної пари, відповідно, на вході в «конденсаційну» та на виході з «конвективної» секції пароперегрівника, °С;

$h_{e.n}$, $h_{e.n}^{nac}$ — ентальпії енергетичної пари, відповідно, на вході в «конвективну» секцію та в стані насичення, кДж/кг;

$r_{e.n}$ — прихована теплота пароутворення (конденсації) енергетичної пари, кДж/кг.

Як засвідчують розрахунки перегрівання рециркуляційної пари — Δt_{pec}^{nm} , °С, де $\Delta t_{pec}^{nm} = (t_{pec}^{six} - t_{pec}^{ex})$, залежно від параметрів енергетичної пари може становити: до 20 °С, 29 °С, 36 °С, 80 °С для тисків енергетичної пари, відповідно, 21 бар, 35 бар, 43 бар, 85 бар.

Розподіл температур теплоносіїв в двосекційному пароперегрівнику рециркуляційної пари наведено на рис. 5.

Графічна залежність температури перегрітої рециркуляційної пари — t_{pec}^{6p} , °С, від температури й тиску енергетичної пари за умови використання двосекційного пароперегрівника наведена на рис. 6.

Зменшення витрати рециркуляційної пари і, відповідно, зменшення потужності електроприводу напірного вентилятора ПКСЖ визначаються рівнянням теплового балансу пароперегрівника та рівнянням потужності вентилятора:

$$D_{pec} = D_{e.n} \cdot (h_{e.n} - h_{конд}) / [c_{pec} \cdot (t_{pec}^{six} - t_{pec}^{ex})], \quad (3)$$

де D_{pec} , $D_{e.n}$ — витрата пари, відповідно, рециркуляційної та енергетичної, т/год;

$h_{e.n}$ — ентальпія енергетичної пари, кДж/кг;

$h_{конд}$ — ентальпія конденсату енергетичної пари, кДж/кг;

$c_{рец}$ — теплоємність рециркуляційної пари, кДж/(кг·К);
 $t_{рец}^{вих}$, $t_{рец}^{вх}$ — температура рециркуляційної пари, відповідно, на виході та на вході пароперегрівника, °С.

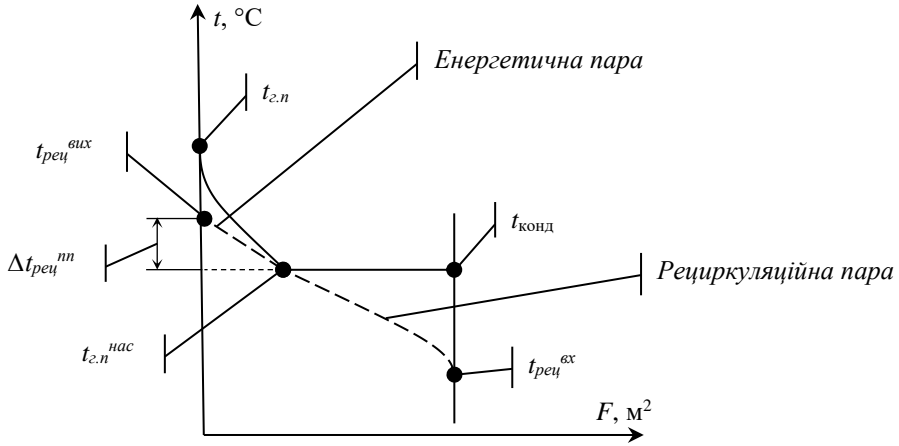


Рис. 5. Розподіл температур грійної енергетичної пари та рециркуляційної пари вздовж поверхні теплообміну двосекційного пароперегрівника

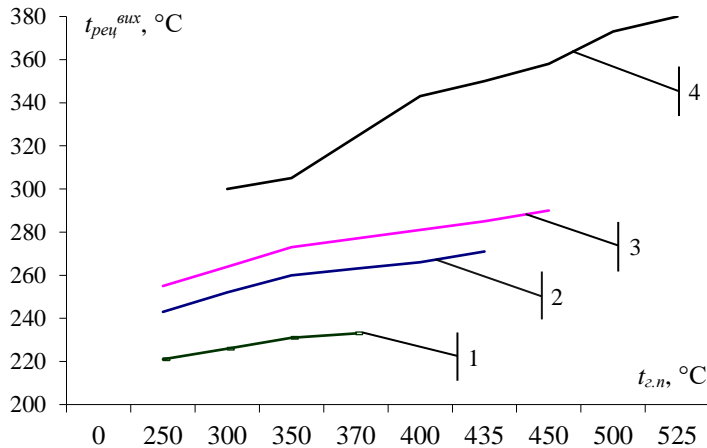


Рис. 6. Залежність температури рециркуляційної пари в двосекційному пароперегрівнику $t_{рец}^{вих}$, °С, від тиску $p_{ен}$, бар, та температури $t_{z.n}$, °С енергетичної пари.
 $p_{ен}t_{z.n}$: 1 — 21/370; 2 — 35/435; 3 — 43/450; 4 — 85/525

Потужність електроенергії, що споживає електропривод напірного вентилятора ПКСЖ — $W_{нв}$, кВт, визначається за рівнянням потужності агрегату:

$$W_{нв} = H_{нв} \cdot (D_{рец} / \rho_{рец}) / (3600 \cdot 1000 \eta_{e.об} \eta_{вл}), \quad (4)$$

де $H_{нв}$ — напір, що створює напірний вентилятор, мм. вд. ст;

$D_{рец}$ — масова витрата рециркуляційної пари, т/год;

$\rho_{рец}$ — питома густина рециркуляційної пари на вході у вентилятор, кг/м³;

3600 — коефіцієнт, що корелює співвідношення одиниць виміру часу, с/год;
 1000 — коефіцієнт, що корелює співвідношення одиниць виміру маси, кг/т;
 $\eta_{e.об}$ — ККД електродвигуна — приводу вентилятора, од;
 η_{mv} — ККД вентилятора, од.

На рис. 9 наведена графічна залежність очікуваних масової та об'ємної витрат рециркуляційної пари, відповідно, $D_{рец}$, т/год, та $Q_{рец}$, тис. м³/год, та очікуваної потужності напірного вентилятора W_{nv} , кВт, від температури рециркуляційної пари, досягнутої в пароперегрівнику $t_{e.n}$, °C.

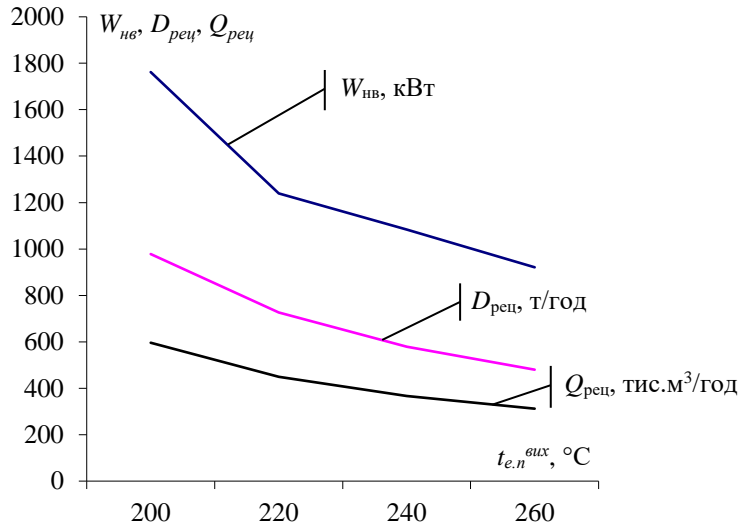


Рис. 7. Залежність потужності електричної енергії, що споживає напірний вентилятор ПКСЖ — W_{nv} , кВт, масова та об'ємна годинна витрата рециркуляційної пари, відповідно, $D_{рец}$, т/год, та $Q_{рец}$, тис. м³/год залежно від температури перегріву рециркуляційної пари $t_{e.n}^{вих}$, °C

Умовами одержання вказаних залежностей є: виробнича потужність цукрового заводу — 7000 тонн буряку на добу, направлення на сушіння 100% відпресованого жому в кількості 54,2 т/год, використання енергетичної пари з параметрами 35 бар/435 °C, та умовно незмінних експлуатаційного ККД напірного вентилятора та аеродинамічного опору шару жому над розподільною решіткою ПКСЖ, відповідно 0,70 од та 760 мм вд ст.

Другим аспектом негативного впливу впровадження ПКСЖ є зменшення показників ефективності цукрової системи споживання теплової енергії заводу і, як наслідок, зростання витрати палива на перероблення буряку, внаслідок використання теплової енергії конденсатів енергетичної пари та вторинної пари ПКСЖ.

Пароконтактна технологія сушіння жому, що використовує енергетичну пару з параметрами 35 бар/435 °C, генерує значний обсяг теплової енергії вторинних енергоресурсів (ВЕР), яка не має бути втраченою в навколишнє середовище, а має бути використана в системі використання теплової енергії цукрового заводу:

- 15,5 МВт теплової енергії у вигляді 55,4 т/год високотемпературного (240 °С) конденсату енергетичної пари;

- 7,5 МВт теплової енергії у вигляді 47,2 т/год низькотемпературного (136 °С) конденсату вторинної пари ПКСЖ.

Енергоефективна ув'язка енерготехнології ПКСЖ в системі цукрового заводу потребує:

- використання теплової енергії конденсату енергетичної пари ПКСЖ шляхом його одноступеневого самовипаровування і направленням охолодженого конденсату в деаератори ТЕЦ, а утвореної пари в колектор відпрацьованої пари парових турбін для використання в системі теплоспоживання заводу;

- використання теплової енергії конденсату вторинної пари ПКСЖ шляхом його багатоступеневого, відповідно числу ступенів випаровування існуючої випарної установки цукрового заводу, самовипаровування, як найефективнішого методу зменшення негативного впливу використання ВЕР (Прядко, Павелко, Петренко, Масліков, & Філоненко, 2005).

Як відомо, використання теплової енергії ВЕР у вигляді пари самовипаровування конденсату в системі паровідборів ВУ має два результати. Позитивний результат полягає в тому, що тепла енергія ВЕР не втрачається, а використовується в системі теплоспоживання заводу. Негативний результат полягає в тому, що тепла енергія ВЕР у вигляді парів, зменшуючи відбори пари з відповідних ступенів випаровування ВУ, зменшує кількість випареної води в кожному ступені випаровування. В результаті зменшується паропроductивність всієї системи паровідборів ВУ і збільшується витрата теплової енергії й палива на виробництво цукру.

Розрахунок теплової схеми заводу засвідчив, що використання теплової енергії конденсату енергетичної пари ПКСЖ в заводі не викликає зменшення ефективності системи теплоспоживання заводу, оскільки не впливає на систему відборів пари зі ступенів випаровування випарної установки заводу. А використання теплової енергії конденсату вторинної пари, оскільки впливає, зменшуючи відповідні відбори вторинної пари з усіх ступенів випаровування, зменшує випарувальну здатність випарної установки і, як наслідок, обумовлює збільшення питомої витрати теплової енергії на перероблення буряку і відповідне збільшення витрати палива в ТЕЦ.

За умови існування в тепловій схемі цукрового заводу 5-ступеневої ВУ і охолодження конденсату вторинної пари ПКСЖ від 138 °С до 77 °С в 5-ступеневій системі самовипаровування система паровідборів отримує 5,17 т/год пари самовипаровування.

Прийняті для розрахунку температури вторинної пари корпусів 5-ступеневої випарної установки заводу наведені в табл. 1.

Прийняті для розрахунку температури пари самовипаровування конденсату вторинної пари ПКСЖ відповідно до ступенів самовипаровування відповідають температурам вторинної пари корпусів ВУ і наведені в табл. 2.

Розрахункові значення витрат пари самовипаровування конденсату вторинної пари ПКСЖ та інші параметри для кожного ступеня випаровування наведені в табл. 3.

МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

Таблиця 1. Температури вторинної пари 5-корпусної ВУ цукрового заводу

Найменування пари	Температура вторинної пари по корпусам випарної установки цукрового заводу, °С				
	1	2	3	4	5
Вторинна пара корпусів ВУ цукрового заводу	127°	118°	107°	90°	77°

Таблиця 2. Параметри пари в системі 5-ступеневого самовипаровування конденсату вторинної пари ПКСЖ

Найменування параметра	Од. виміру	Ступені самовипаровування конденсату				
		1	2	3	4	5
Температура пари самовипаровування	°С	127	118	107	90	77°
Прихована теплота самовипаровування	кДж/кг	2170	2210	2240	2283	2320

Таблиця 3. Параметри системи використання теплової енергії конденсату вторинної пари ПКСЖ у системі цукрового заводу

Найменування параметра	Од. вим.	Збірники самовипаровування конденсату				
		1	2	3	4	5
Коефіцієнт самовипаровування	од.	0,0184	0,0171	0,021	0,0313	0,0235
Витрата пари самовипаровування	т/год	0,87	0,81	1,0	1,56	1,11
Сумарна витрата пари самовипаровування		5,3 (1,8% до маси буряку)				
Показник впливу пари самовипаровування на кількість випареної води в корпусі ВУ	Од.	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Зменшення випареної води у ВУ внаслідок використання пари самовипаровування	т/год	0,87	1,62	3,0	6,24	5,55
Сумарне зменшення випареної води в ВУ	т/год	16,2				
Збільшення виходу (втрати) вторинної пари останньої ступені випаровування в конденсатор для збереження регламентної концентрації сиропу з ВУ	т/год	2,9				
Втрата теплової енергії в навколишнє середовище внаслідок втрати пари в конденсатор	кДж/с тис.кВт·год/доб	2,130/51,1				

Очікуване збільшення питомої витрати теплової енергії на перероблення буряку	Мкал/т буряку	6,9 (від 229,7 до 236,6)
Очікуване збільшення годинної витрати палива (природного газу) в ТЕЦ	тис.м ³ /добу	7,4 (від 263,1 до 270,5)

Виконані розрахунки засвідчують, що впровадження ПКСЖ на цукровому заводі потужністю 7000 т буряку на добу призводить до збільшення питомої витрати теплової енергії на перероблення буряку від 229,7 до 236,6 Мкал/т буряку і, відповідно, до збільшення витрати природного газу в ТЕЦ заводу від від 263,1 до 270,5 тис.м³/добу.

З метою уникнення перевитрат теплової енергії і палива служба енергоменеджменту заводу має збільшити паропродуктивність системи відборів пари зі ступенів ВУ шляхом перенесення певних споживачів теплової схеми заводу на обігрів паром наступних (за тим, що використовувався) ступенів випаровування і відповідного збільшення поверхні теплообміну підігрівників, обумовлених зменшенням температур грійної пари.

У разі реалізації такого рішення паропродуктивність ВУ зросте до рівня, який існував раніше, а показники ефективності системи споживання теплової енергії і витрата палива в ТЕЦ стануть відповідати рівню до впровадження ПКСЖ.

Порівняння коштів, отриманих від продажу 18,1 т сухого жому за ціною 10200 грн/(т с. ж) і витрат коштів на закупівлю електроенергії від РЕС (за ціною 10,0 грн/(кВт·год) для цукрового заводу потужністю 7000 т буряку на добу, в ТЕЦ якого відсутня експлуатація РОУ, залежно від частки жому, направлено на сушіння — $G_{жс}^{суш}$, %, засвідчує гарантію значного прибутку від використання ПКСЖ, незважаючи на закупівлю значного (1800 кВт·год за годину) обсягу електричної енергії (рис. 8).

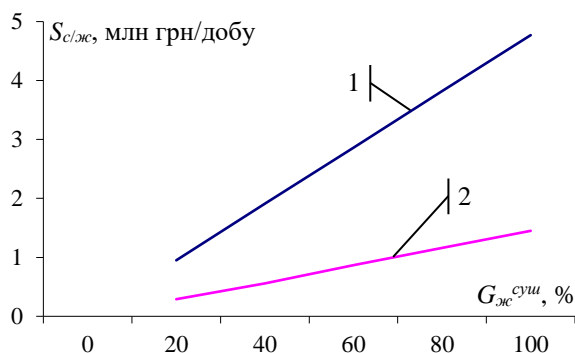


Рис. 8. Порівняння фінансових потоків для ПКСЖ: 1 — добова сума коштів за проданим сухим жом; 2 — добова сума коштів на закупівлю електроенергії від РЕС

Висновки

На основі результатів математичного моделювання енергетичного комплексу цукрового заводу встановлено негативний вплив впровадження ПКСЖ на обсяг генерації електричної енергії в ТЕЦ та на показники ефективності системи споживання теплової енергії заводу.

З'ясовано, що для цукрового заводу потужністю 7000 т буряків на добу впровадження ПКСЖ обумовлює суттєве зменшення вироблення електричної енергії до рівня (4200—7600) кВт.

Встановлено, що наявність пропуску енергетичної пари через редукційно-охолоджувальну установку ТЕЦ та підвищення параметрів гострої пари в ТЕЦ зменшує недовироблення електроенергії власної генерації в ТЕЦ. Пропуск енергетичної пари через РОУ може досягати (20—40) т/год, залежно від параметрів енергетичної пари в ТЕЦ.

Визначено, що цукрові заводи, які досягли гранично-мінімальних питомих витрат теплової енергії на перероблення буряку, мають найвищий рівень недовироблення електричної енергії власної генерації.

Сформовано науково-технічне обґрунтування зменшення потужності напірного вентилятора на (44—66) % ПКСЖ у разі підвищення температури циркуляційної пари, що дає змогу суттєво зменшити недовироблення електроенергії турбоагрегатами ТЕЦ.

Визначено, що негативний вплив впровадження ПКСЖ в енергетичний комплекс цукрового заводу потужністю 7000 т буряків на добу обумовлює перевищення палива в ТЕЦ на рівні 7,4 тис. м³ на добу.

Запропоновано технічні рішення з реконструкції системи генерації електричної енергії в ТЕЦ та системи відборів пари з корпусів випарної установки заводу для уникнення негативного впливу впровадження ПКСЖ.

Література

- Василенко, С., Бессараб, О. С., Шутюк, В. В. (2014). Порівняльний аналіз сушіння жому цукрового буряку гарячим повітрям і перегрітою парою. *Наукові праці ОНАХТ*, 1(45), 96—100.
- Прядко, М. О., Павелко, В. І., Петренко, В. П., Масліков, М. О., Філоненко, В. М. (2007). *Основи теплотехнології цукрового виробництва*. Навчальний посібник з грифом МОН України. Вінниця: «Нова книга».
- Шутюк, В. В., Василенко, Т. П., Бут, С. А. (2017). Теплообмін під час сушіння бурякового жому перегрітою парою. *Цукор України*, 3 (135), 18—24.
- Філоненко, В. М., Бірюков, Д. Г. (2002). Енергозбереження для цукрових заводів з низькими параметрами пари в ТЕЦ. *Наукові праці НУХТ*, 11, 46—49.
- Філоненко, В. М. (2004). Гранично-допустимі показники тепло- та електроспоживання у цукровій галузі В зб.: *Матеріали науково-технічної конференції цукровиків України «Шляхи підвищення ефективності бурякоцукрового виробництва»*, Київ, НУХТ, 182—184.
- Bunert, U., Schliephake, D. (1999). Investigation of the drying characteristics of pressed sugar beet pulp in superheated steam. Part 1. *Zuckerindustrie*, 124, 288—294.
- Bunert, U., Schliephake, D. (1999). Investigation of the drying characteristics of pressed sugar beet pulp in superheated steam. Part 2. *Zuckerindustrie*, 124, 524—530.
- Jensen, A. S. (1995). Industrial Experience in Pressurized Steam Drying of Beet Pulp, Sewage Sludge and Wood Chips. *Drying Technology*, 13(5—7), 1377—1393. <https://doi.org/10.1080/07373939508917028>.

Jensen, A. S., Morin, B., (2015). Energy and Environment in Beet Sugar Production. *Sugar Industry*, 140, 697—702.

Jensen, A. S. (2007). Latest developments in drying technology for beet pulp. *Sugar Industry/Zuckerindustrie*, 132(10), 748—755.

Jensen, A. S., Larsen, K. (2014). The Developments of Large Pressurized Fluid Bed Steam Dryers from Fundamental Research to Industrial Plants. *Drying Technology*, 33, 1631—164.

Jensen, A. S., (2005). *Steam Drying of Beet Pulp. Latest Development*. 33-rd Biennial Meeting of the American Society of Sugar Beet Technologists, Palm Springs, 2—5 March, 118—125.

Kaspers, D., Hammert, K., Fersterra, X., Hafeman, X., Lenberger, A. (2013). New in drying pulp with steam in a fluidized bed. *Sugar Industry International*, 138(8), 522—524.

Karimi, F., (2010). Applications of superheated steam for the drying of food products. *International Agrophysics*, 24, 195—204.

Pakowski, Z. Adamski, R. (2011) On prediction of the drying rate in superheated steam drying process. *Drying Technology*, 29, 1492—1498. DOI: 10.1080/07373937.2011.576320.

Polanco, Luz Stella, Kochergin, Vadim, Alvarez, Jose, F. (2013). Fluidized Bed Superheated Steam Dryer for Bagasse: Effects of Particle Size Distribution. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 3(4).

Schrawat, R., Nema, P. K., Kaur, B. P. (2016). Effect of superheated steam drying on properties of foodstuffs and kinetic modeling. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 285—301. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.02.00.

THE INFLUENCE OF PROTEINS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ICE CREAM MIXES BASED ON LIQUID WHEY CONCENTRATES

A. Mykhalevych, G. Polishchuk, U. Bandura, T. Osmak

National University of Food Technologies

Key words:

Liquid whey concentrate
Proteins
Foam resistance
Foam overrun
Thixotropy
Ice cream

Article history:

Received 05.03.2024
Received in revised form
26.03.2024
Accepted 05.04.2024

Corresponding author:

A. Mykhalevych

E-mail:

artur0707@ukr.net

Citation: Михалевич А. П., Поліщук Г. С., Бандура У. Г., Осьмак Т. Г. (2024). Вплив білків на реологічні характеристики сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 123—135.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-11

ABSTRACT

Whey ice cream is a dessert of semi-industrial production, the technology and chemical composition of which needs improvement. A promising direction is the enrichment of whey ice cream with proteins of various origins, which can improve its quality indicators and expand the group of potential consumers. The effect of protein ingredients on the rheological characteristics of ice cream mixes based on liquid concentrates of demineralized whey is shown in the article. Whey protein isolate (3%) was found to provide the highest foam overrun (172.5—225.0%) and foam resistance (47.7—52.4%) compared to other protein ingredients. The effective viscosity of whey mixes indicated its increase in all samples, except for the mix with soy protein isolate, which forms an insufficiently stable gel network. Micellar casein concentrate (3%) and whey protein concentrate (3—5%) increase the viscosity of the system, but this effect is less pronounced compared to whey protein isolate (3%). According to the results of the deformation curves analyze of the experimental mixes the ability of whey protein supplements to form a coagulation structure with thixotropic properties was revealed, which grows with the increase in the degree of protein purification. The ice cream mixes with whey proteins by order of increase of the structure restoration degree after the complete destruction of bonds, can be arranged in the following sequence: 3% whey protein concentrate < 3% whey protein isolate < 5% whey protein isolate. The prospect of further research consists of a comprehensive study of the quality indicators of ice cream using whey protein isolate, in particular during storage.

ВПЛИВ БІЛКІВ НА РЕОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУМІШЕЙ МОРОЗИВА НА ОСНОВІ РІДКИХ КОНЦЕНТРАТІВ СИРОВАТКИ

А. П. Михалевич, Г. Є. Поліщук, У. Г. Бандура, Т. Г. Осмак

Національний університет харчових технологій

Сироваткове морозиво є десертом напівкомерційного виробництва, технологія та хімічний склад якого потребують удосконалення. Перспективним напрямком є збагачення сироваткового морозива білками різного походження, що може поліпшити показники його якості та розширити коло потенційних споживачів. У статті досліджено вплив білкових інгредієнтів на реологічні характеристики сумішей морозива на основі рідких концентратів демінералізованої сироватки. Встановлено, що ізолят сироваткових білків (3%) забезпечує найвищі показники пінозбитості (172,5—225,0%) та піностійкості (47,7—52,4%), якщо порівняти з іншими білковими інгредієнтами. Вимірювання ефективної в'язкості сироваткових сумішей вказує на її збільшення у всіх зразках, окрім суміші з ізолятом соєвого білка, що формує недостатньо стабільну сітку гелю. Концентрат міцелярного казеїну (3%) та концентрат сироваткових білків (3—5%) підвищують в'язкість систем, проте ця дія є менш вираженою, ніж при застосуванні ізоляту сироваткових білків (3%). За результатами аналізу кривих деформації дослідних сумішей виявлено здатність сироваткових білкових добавок до формування коагуляційної структури з тиксотропними властивостями, що за підвищення ступеня очистки білків збільшується. За збільшенням ступеня відновлення структури після повного руйнування зв'язків суміші морозива з сироватковими білками можна розташувати в такій послідовності: 3% концентрат сироваткових білків < 3% ізолят сироваткових білків < 5% ізолят сироваткових білків. Перспектива подальших досліджень полягає в комплексному дослідженні показників якості морозива з використанням ізоляту сироваткових білків, зокрема під час зберігання.

Ключові слова: рідкий концентрат сироватки, білки, пінозбитість, пінозбитість, тиксотропність, морозиво.

Постановка проблеми. Молочна промисловість продовжує активні пошуки ефективного застосування різних видів сироватки. Одним із перспективних напрямків є розробка морозива підвищеної харчової цінності з використанням білкових добавок різного походження. Сироваткове морозиво відрізняється від традиційних видів морозива нижчим вмістом сухих речовин, зокрема жиру та білка, що робить можливим утворення вад якості при його виробництві та подальшому зберіганні. Саме тому актуальним є пошук і дослідження натуральних інгредієнтів, які здатні ефективно зв'язувати вільну воду в морозиві та поліпшувати реологічні характеристики. Білкові концентрати та ізоляти є прикладами ефективних біополімерів, що здатні не тільки підвищувати загальний вміст білка у продуктах, але й можуть виявляти численні функціональні та технологічні функції в технології морозива, як-от стабілізація структури, зв'язування вільної води, підвищення

піноутворюючих властивостей та в'язкості, запобігання росту кристалів льоду під час фризювання та низькотемпературного зберігання готового продукту (Rout, & Saha, 2023; de Paula et al., 2024; Marimon-Valverde, Lainez-Ramirez, Sepúlveda-Valencia, Mejía-Villota, & Rodríguez-Sandoval, 2024). Однак наукова інформація щодо впливу білкових добавок на реологічні властивості сумішей морозива сироваткового є вкрай обмеженою, що обумовлює інтерес до проведення дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сироваткове морозиво є замороженим десертом, який виготовляють на основі свіжої підсирної сироватки або сироватки з-під сиру кисломолочного з можливим додаванням овочевих або фруктових соків, молочнокислих бактерій і смако-ароматичних наповнювачів (Patil, & Banerjee, 2017; Sitnikova, & Tvorogova, 2019). Низька масова частка сухих речовин у такому морозиві може спричинити виникнення вад консистенції та смаку під час зберігання готового продукту (Oli, 2020; Zhao, Khalesi, He, & Fang, 2023).

Потрібно зазначити, що сироваткове морозиво відноситься до морозива любительської групи, а не до масового виробництва, що обумовлює його специфічні фізико-хімічні характеристики. Згідно з Goff (2013) різні види морозива, що вважаються найбільш комерційно популярними у країнах з найбільшим рівнем споживання та виготовлення морозива, містять 29—37% сухих речовин. Конкретні вимоги щодо складу сироваткового морозива не регламентуються. У науковій літературі дослідження щодо повної заміни молочних інгредієнтів (молоко коров'яче, вершки, масло тощо) на сироватку суху або рідку практично відсутні (Kamińska-Dwórznińska, Łaba, & Jakubczyk, 2022) та не містять даних щодо хімічного складу продукту.

De Meneses et al. (2022) визначили хімічний склад молока як класичного інгредієнта традиційних видів морозива та вторинних молочних ресурсів (маслянка, сироватка) як основи для виробництва сироваткового морозива та з'ясували, що вона становить 15,2% для молока незбираного, 5,53% — для сироватки з-під рикоти, 6,47% — для сироватки з-під сиру сичужного та 8,64% — для маслянки. Отримані дані вказують на те, що використання тільки сироватки як молочної основи суттєво знижує масову частку сухих речовин у морозиві (de Meneses et al., 2022).

На попередньому етапі дослідження було обґрунтовано склад морозива сироваткового на основі рідкого концентрату демінералізованої сироватки, використання якого забезпечувало підвищення масової частки сухих речовин до 41,61%, зокрема 3,3% білка (Shevchenko et al., 2022).

Проте подальше підвищення масової частки білка є доцільним для досягнення таких технологічних результатів:

- запобігти надлишковому формуванню кристалів лактози за рахунок здатності білкових інгредієнтів формувати міцний каркас, що частково протидіє росту кристалів льоду;
- забезпечити формування належних фізико-хімічних показників (збитість, опір до танення), а також смакових характеристик;
- підвищити харчову цінність готову продукту.

Однак з метою прогнозування можливого впливу білкових інгредієнтів на показники морозива доцільно проводити дослідження їх реологічної поведінки у складі сумішей.

Серед білкових добавок для одержання стійких пін найчастіше використовують концентрати та ізоляти сироваткових білків (Liszka-Skoczylas, Ptaszek, & Żmudziński, 2014). Було доведено, що сироваткові білки можуть частково замінити жир завдяки їх позитивному впливу на в'язкість. Вони здатні знижувати швидкість танення та покращувати органолептичні властивості морозива з низьким вмістом жиру (Mostafavi et al., 2017; Yilsay et al., 2006).

Відомо, що ізолят сироваткових білків використовувався для підвищення рівня білка в морозиві з буйволового молока до 6, 8 і 10%. Це призвело до зниження показника текучості (з 0,86 до 0,57) та підвищення коефіцієнта консистенції (з 0,18 Па·с до 4,22 Па·с) суміші морозива. Однак зі збільшенням вмісту білка у зразках зменшилася збитість (з 94,9% до 33,9%) та зросла твердість (з 13,60 Н до 47,66 Н) (Roy, Hussain, Prasad, & Khetra, 2022).

Властивості концентрату міцелярного казеїну в технології морозива є маловивченими, а в технології сироваткового морозива взагалі недослідженими. Аналіз наукової літератури вказує на те, що концентрат міцелярного казеїну має практичне застосування в кількох молочних та інших харчових продуктах завдяки своїм унікальним функціонально-технологічним властивостям, зокрема вчені звертають увагу на здатність до піноутворення, емульгування, диспергування, термостабільність, м'який смак і здатність зв'язувати воду (Hammam, Martínez-Monteagudo, & Metzger, 2021; Carter, Cheng, Kapoor, Meletharayil, & Drake, 2021).

Lu, McMahan, & Vollmer (2016) вивчали властивості холодного гелеутворення висококонцентрованих систем міцелярного казеїну (23% загального білка). Розчини концентрату міцелярного казеїну, змішані з вершками, утворювали гелі при низьких температурах (5 °C) і переходили в рідкий стан при нагріванні до 50 °C.

Не меншим інтересом у харчовій галузі користуються білки рослинного походження, проте дослідження щодо заміни жиру рослинними білками в морозиві або використанні їх у нежирних видах морозива обмежені. Ізолят соєвого білка широко використовується завдяки високій доступності та функціональності (Biswas, Chakraborty, & Choudhuri, 2002; Dervisoglu, Yazici, & Aydemir, 2005; Friedeck, Aragul-Yuceer, & Drake, 2003; Puppo та ін., 2008). Хоча деякі дослідження проводилися із соєвим білком як заміником жиру, він часто використовувався в поєднанні з полісахаридами у складі композицій. Для розуміння можливої дії ізоляту сироваткових білків у складі сироваткових сумішей потрібні додаткові дослідження.

Метою дослідження є вивчення впливу білкових інгредієнтів на реологічні властивості сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки.

Для досягнення окресленої мети було визначено такі завдання:

1. Вивчити вплив білків на піноутворюючі властивості сироваткових сумішей морозива.
2. Дослідити в'язко-пружну поведінку сумішей морозива з білковими добавками.
3. Обрати найбільш раціональні білки та їх концентрацію для застосування у технології морозива сироваткового.

Матеріали і методи. Для виробництва сумішей морозива використовували рідкий концентрат демінералізованої сироватки (Osmak, Mleko, Bass, Mykhalevych, & Kuzmuk, 2021), стабілізаційну систему Cremodan SE 406 (DuPont™,

Danisco®), цукор білий кристалічний, ванілін і воду питну. Як білкові інгредієнти застосовували ізолят соєвого білка 90% (ISOPRO 900EM-UIP, Китай), концентрат сироваткових білків 70% (Гадячсир, Україна), концентрат міцелярного казеїну 85% (Ingredia Promilk, Франція), ізолят сироваткових білків (Spomlek, Польща).

Як контроль було обрано суміш морозива сироваткового на основі рідкого концентрату демінералізованої сироватки (масова частка сухих речовин — 41,61%, з них масова частка жиру — 0,74%, масова частка білка — 3,3%). Для виробництва дослідних сумішей використовували білкові інгредієнти у кількості від 3 до 11% з кроком у 2%. Обрані діапазони вмісту білкових добавок забезпечували продукт білком на рівні 14,03—26,7%, що дає право вважати такий продукт збагаченим білком (понад 12%) або джерелом білка (понад 20%) (Regulation (EC) No 1924/2006).

Сушу демінералізовану сироватку відновлювали в питній воді за температури (40—45) °С для одержання концентрату з масовою часткою сухих речовин 40%. Концентрат фільтрували, пастеризували за температури (85—88) °С впродовж 3—5 хв, охолоджували до температури (40—43) °С.

Сухі компоненти рецептури відновлювали у воді за температури (40—45) °С, фільтрували, після чого до отриманих сумішей вносили концентрат сироватки та перемішували протягом 1—2 хв. Пастеризацію проводили за температури (85±2) °С впродовж 5 хв і з подальшою гомогенізацією за тиску (12,0±2,5) МПа за допомогою лабораторного гомогенізатора-диспергатора моделі 15M-8TA «Lab Homogenizer & Sub-Micron Disperser» (GAULIN CORPORATION, Massachusetts, USA). Гомогенізовані суміші охолоджували до температури (4±2) °С, витримували не менше 2 годин.

Хімічний склад виготовлених сумішей морозива з білковими добавками:

- масова частка сухих речовин — 42,6—50,6%;
- масова частка жиру — 0,74—0,85%;
- масова частка білку — 6,02—13,57%;
- масова частка цукру — 11%.

Визначення пінозбитості сумішей морозива здійснювали за температури 2—6 °С шляхом збивання за допомогою міксеру з насадкою протягом 5, 10 та 15 хв з перервами у 5 хв за модифікованим методом (Lim, Swanson, & Clark, 2008). Пінозбитість визначали як відношення об'єму збитої суміші до її початкового об'єму, виражене у відсотках.

Визначення піностійкості проводили за модифікованим методом Philips L., згідно з яким використовували ємність з отвором знизу для стікання піни після збивання (Lim, Swanson, & Clark, 2008). За показник піностійкості приймали час, впродовж якого в результаті руйнування піни утворюється 50% первинного об'єму суміші, який було використано для збивання.

Визначення реологічної поведінки сумішей проводили з використанням ротаційного віскозиметра з вимірювальною системою «циліндр-циліндр» шляхом зняття кривих кінетики деформації при температурі 20 °С. Вимірювання напруги зсуву τ (Па) проводили при дванадцяти значеннях градієнта швидкості зсуву D в діапазоні від 3 до 1312,2 c^{-1} при прямому та зворотному ході (Bass, Polischuk, & Goncharuk, 2017). Фіксували максимальну ефективну в'язкість практично незруйнованої структури ($\gamma=3 \text{ c}^{-1}$), мінімальну ефективну в'язкість гранично зруйнованої

структури ($\gamma=1312,2 \text{ c}^{-1}$) та ефективну в'язкість відновленої структури ($\gamma=3 \text{ c}^{-1}$). Ступінь відновлення структури сумішей морозива (тиксотропну здатність) визначали у відсотках за різницею значень ефективної в'язкості практично незруйнованої структури на початку та наприкінці вимірювання при градієнті швидкості зсуву ($\gamma=3 \text{ c}^{-1}$) (Sapiga, Polischuk, Buniowska, Shevchenko, & Osmak, 2021).

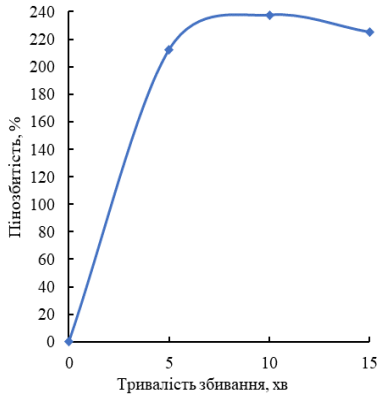
Дані були виражені як середні значення зі стандартними відхиленнями за трикратного вимірювання. Статистичний аналіз проводили за допомогою програми Statistika 10. Відмінності вважали достовірними при валідності $\alpha=0,95$.

Викладення основних результатів дослідження. Вплив білкових інгредієнтів на піноутворювальну здатність сумішей морозива сироваткового за їх варійованого вмісту від 3 до 11% наведено на рис. 1. Найменшу технологічну ефективність виявляє ізолят соєвого білка, незалежно від масової частки цієї добавки. Міцелярний казеїн (3%) підвищує пінозбитість у дещо більшій мірі, ніж ізолят соєвого білка, однак це значення є набагато меншим за отримані результати для контрольної суміші. Концентрат сироваткових білків (3—5%) має помірну технологічну ефективність і забезпечує пінозбитість сумішей на рівні 153,5—162,5% після 5 хв збивання та 146,5—150,0% після 15 хв збивання. Ізолят сироваткових білків (3—5%) демонструє найбільшу технологічну активність у складі сироваткових сумішей. Використання 3% добавки наближує значення пінозбитості до значень контрольної суміші. За підвищення масової частки ізоляту до 5% відбувається зниження пінозбитості, що особливо помітно після 10 та 15 хв збивання. Подальше збільшення масової частки ізоляту сироваткових білків (7—11%) є недоцільним через суттєве зниження піноутворюючих властивостей сумішей внаслідок їх суттєвішого структурування.

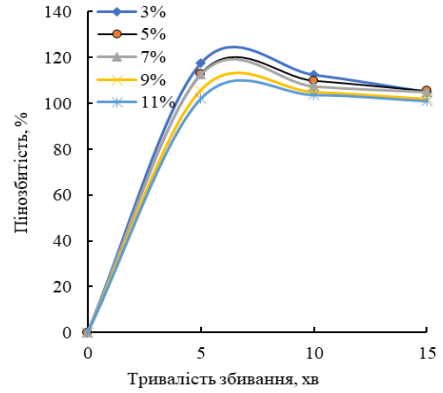
Shao, Lin, & Kao (2016) повідомляли про обмежену здатність соєвих концентратів та ізолятів до піноутворення через специфічну структуру, що обумовлює необхідність попередньої підготовки, наприклад, гідротермічним способом. Також можливою причиною зниження пінозбитості сироваткових сумішей може бути висока вологоутримуюча здатність ізоляту сироваткових білків, що формує еластичну сітку гелю, яка не відрізняється особливою міцністю (Zhang et al., 2024).

Піностійкість сироваткових сумішей у разі використання ізоляту сироваткового білка знижується з відповідним зниженням пінозбитості (табл. 1), однак для інших добавок така взаємозалежність не спостерігається. Піностійкість сумішей з міцелярним казеїном є дещо вищою, ніж у разі використання концентрату сироваткових білків, що може обґрунтовуватися вищою еластичністю зв'язків, що формують білки міцелярного казеїну. Повідомлялося, що міцелярний казеїн (1,5% і 2,5%) у складі вершків продемонстрував високу стабільність при збиванні, що можна пояснити вищим рівнем міжмолекулярної взаємодії, якщо порівняти з іншими білковими добавками (Li, Li, Yuan, Wang, Li, & Zhang, 2020).

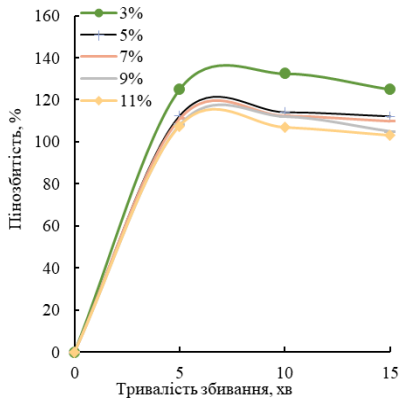
Hogan, Chaurin, O'Kennedy, & Kelly (2012) встановили, що міцелярний казеїн забезпечує більш пластичну структуру в батончиках протягом усього терміну придатності, на відміну від концентрату сироваткових білків та ізоляту сироваткових білків, використання яких збільшувало твердість продукту.



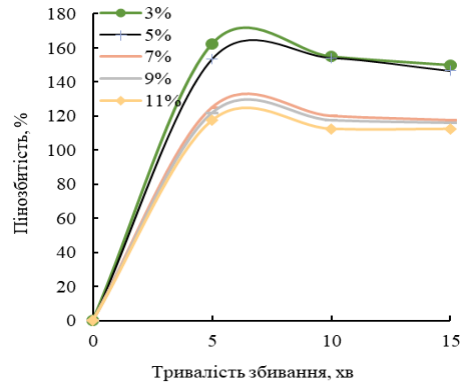
a



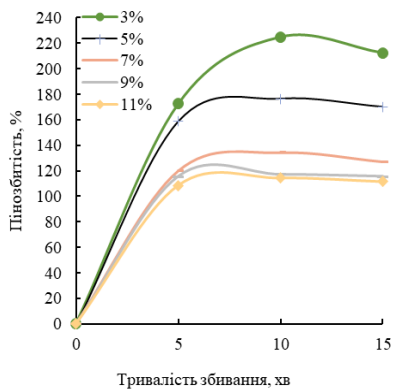
б



в



г



д

Рис. 1. Пінозбитість сумішей морозива сироваткового з білковими добавками за їх варійованого вмісту від 3 до 11% : *a* — контроль; *б* — ізолят сироваткового білка; *в* — концентрат міцелярного казеїну; *г* — концентрат сироваткових білків; *д* — ізолят сироваткових білків

Таблиця 1. Піностійкість сироваткових сумішей з білками та без

Суміш морозива	Масова частка білкової добавки, %	Тривалість збивання, хв		
		5	10	15
Контроль	0	46,2±0,5	54,8±0,9	49,5±0,8
З ізолятом соєвого білка	3	42,2±0,7	43,2±0,3	41,8±1,1
	5	36,2±0,1	38,7±1,0	36,5±0,4
	7	30,4±1,1	32,6±0,5	35,0±0,8
	9	30,1±0,8	31,8±0,7	32,6±1,2
	11	28,5±0,6	27,4±0,4	27,6±0,3
З концентратом міцелярного казеїну	3	44,5±1,2	49,0±0,8	47,1±0,5
	5	43,1±1,0	45,4±0,6	46,3±0,9
	7	40,5±1,0	41,6±0,6	43,4±0,8
	9	36,4±0,9	37,7±0,1	36,6±0,2
	11	30,4±0,2	32,6±1,1	32,8±1,2
З концентратом сироваткових білків	3	42,7±0,8	44,4±1,3	44,1±1,0
	5	35,9±1,2	37,8±0,3	38,1±0,7
	7	33,6±0,5	35,0±0,3	35,2±0,9
	9	31,8±0,9	32,5±0,5	31,9±0,6
	11	28,8±0,4	29,3±0,8	28,7±0,2
З ізолятом сироваткових білків	3	47,7±0,7	50,2±0,5	52,4±1,8
	5	43,5±0,8	48,6±0,9	59,3±0,2
	7	42,1±0,1	43,4±0,6	53,8±0,8
	9	39,0±1,1	40,1±1,5	42,0±0,6
	11	36,5±1,3	38,0±0,2	34,0±0,5

Водночас Long, Zhao, Sun-Waterhouse, Lin, & Zhao (2016) повідомляли, що часткова заміна казеїнату натрію концентратом сироваткових білків покращувала піностійкість збитих вершків, проте знижувала пінозбитість.

Ізолят сироваткових білків забезпечував найбільшу стабільність збитих сироваткових сумішей, що тільки зростала зі збільшенням тривалості збивання, в той час як для більшості зразків з іншими білками вона зменшувалася після 10 хв збивання.

Abirached et al. (2012) встановили, що піни з ізолятом сироваткових білків мають більшу піноутворювальну здатність не лише завдяки вищій розчинності та гідрофобності поверхні, але й тому, що вони мають більш когезійну плівку на межі «повітря-вода», що підтверджено дослідженнями міжфазної реології. Утворення стійкої міжфазної плівки призводить до підвищення здатності утримувати велику кількість вологи, а також формувати під час збивання суміші дрібнодисперсні та стійкі у часі бульбашки повітря.

Вплив білкових інгредієнтів на піноутворюючі властивості сумішей є доволі різним залежно від одержання та хімічного складу досліджуваних систем, що

обумовлює необхідність дослідження індивідуально кожної системи.

За результатами дослідження піноутворюючих властивостей сироваткових сумішей було обрано найкращі зразки з кожною з білкових добавок для визначення в'язкісно-швидкісних характеристик цих систем (табл. 2).

Таблиця 2. В'язкісно-швидкісні характеристики сироваткових сумішей з білковими добавками

Суміш морозива	Ефективна в'язкість (мПа·с) за змінного градієнта швидкості зсуву			Час граничного руйнування структури ($\gamma = 1312,2 \text{ c}^{-1}$), хв	Ступінь відновлення структури, %
	$\gamma = 3 \text{ c}^{-1}$ (прямий хід)	$\gamma = 1312,2 \text{ c}^{-1}$	$\gamma = 3 \text{ c}^{-1}$ (зворотний хід)		
Контроль	600,1±10,4	23,2±0,6	280,8±6,3	4,9±0,1	46,8
3% ІСОБ	560,5±11,1	20,4±0,2	255,8±1,8	4,4±0,2	45,6
3% КМК	611,4±15,9	23,8±0,8	301,8±10,5	5,0±0,2	49,4
3% КСБ	618,2±12,4	23,5±0,7	304,2±9,7	5,1±0,1	49,2
5% КСБ	620,1±11,3	22,9±1,0	315,4±9,4	4,7±0,2	50,9
3% ІСБ	631,4±13,8	26,8±1,2	350,0±3,0	5,8±0,2	55,4
5% ІСБ	640,4±9,8	26,5±0,9	408,5±12,6	5,6±0,1	63,8

Примітка. ІСОБ — ізолят соєвого білка; КМК — концентрат міцелярного казеїну; КСБ — концентрат сироваткових білків; ІСБ — ізолят сироваткових білків.

Контрольна суміш морозива виявляє відносно непогану тиксотропну здатність, що передусім обумовлено її хімічним складом, насамперед, високим вмістом сухих речовин і присутністю сироваткових білків (3,3%). Додавання білкових добавок до сироваткових сумішей збільшує ефективну в'язкість в усіх випадках, окрім ізоляту соєвих білків. Незважаючи на його високу здатність до абсорбування вологи, він формує недостатньо стабільну сітку гелю, що після руйнування виявляє меншу здатність до самочинного відновлення структури. Міцелярний казеїн і концентрат сироваткових білків (3—5%) підвищують в'язкість систем, проте ця дія є менш вираженою, ніж при застосуванні ізоляту сироваткових білків (3%).

Beliciu, & Moraru (2011) повідомляли, що в білкових сумішах гелеутворення відбувається при концентрації соєвого білка понад 7,5% і температурі обробки вище 80 °С. Встановлено, що на в'язкість міцелярного казеїну термічна обробка істотно не впливає, але збільшення концентрації цієї білкової добавки підвищує в'язкість і межу текучості сумішей. Концентрації цих білків у водних сумішах на рівні 7,5—12,5% з використанням обробки при температурі понад 90 °С призводили до поділу фаз, низької в'язкості і низької межі текучості, тоді як концентрації понад 15%, за теплової обробки при 90 °С продемонстрували агрегацію білків і початкове утворення сітки гелю (Beliciu, & Moraru, 2011). Очевидно, що в цьому дослідженні концентрація як міцелярного казеїну, так і ізоляту соєвого білка в сироваткових сумішах була значно меншою, як і температура теплової оброблення. Спільно ці чинники не дають змогу отримати значного ефекту від використання міцелярного казеїну, а в разі ізоляту сироваткових білків — уникнути погіршення в'язко-пружної поведінки.

Maltais, Romondetto, & Subirade (2009) за допомогою трансмісійної електронної мікроскопії встановили, що ниткоподібні сітки гелю, а також часткові гелі, що складаються з безперервної тривимірної мережі з'єднаних частинок сітки в гелях, пов'язані з міцністю утворених гелів. Соеві білки формують гідрогелі, що мають більшу еластичність, в той час як ниткоподібні сітки гелю, сформовані сироватковими білками, підвищують в'язкість і формують сітку гелю у всьому об'ємі харчової системи (Liang et al., 2020).

Onwulata, Tunick, & Mukhopadhyay (2014) встановили, що міра стану «твердий-рідкий» дає змогу констатувати про приналежність ізоляту соєвого білка до твердих речовин, тоді як ізоляту сироваткових білків — до речовин, подібних до рідин. Це пояснює зниження здатності до відновлення суміші при застосуванні ізоляту соєвого білка, тоді як використання навіть вищих концентрацій ізоляту сироваткових білків (5%) дає змогу досягти технологічного ефекту.

На думку інших вчених, розчинність білків, особливо в багатокомпонентних системах, має першочергове значення щодо впливу на реологічну поведінку, зокрема на процес гелеутворення та в'язкопружні властивості (Pelegrine, & Gasparretto, 2005). Розчинність ізоляту сироваткових білків є однією з найвищих і для необроблених білкових розчинів складає близько 95—100% (Onwulata, Tunick, & Mukhopadhyay, 2014).

Не менш важливу роль у поліпшенні реологічних властивостей сумішей може відігравати теплова обробка. У змішаній білковій системі, що складалася з желатину та ізоляту сироваткових білків, гелі були дуже слабкими без температурного оброблення, а от за нагрівання до 85 °C показники концентрації та в'язкості збільшувалися (Fitzsimons, Mulvihill, & Morris, 2008). У нашому дослідженні температура пастеризації сумішей була аналогічною, що може бути додатковим фактором впливу на підвищення в'язкості в системах з ізолятом сироваткових білків.

Підсумовуючи, потрібно зазначити, що певні суперечності в науковій літературі щодо впливу білкових добавок на реологічну поведінку харчових систем пов'язані передусім з їхнім хімічним складом. Так, суміш морозива є багатокомпонентною системою, вплив окремих складових якої може варіюватися залежно від умов технологічної підготовки та обраної концентрації.

Приклади сумішей, що продемонстрували найвищу тиксотропну здатність, зображено на рис. 2.

Аналіз реограм течії дослідних сумішей вказує на виражену здатність сироваткових білків до формування коагуляційної структури з вираженими тиксотропними властивостями, що за підвищення ступеня очистки білків збільшується. Ізолят сироваткових білків (3—5%) демонструє найбільше відновлення структури, проте за найвищої масової частки (5%) відбувається дещо надмірне структуровання суміші за рахунок підвищення ефективної в'язкості системи. Концентрат сироваткових білків (3%) хоч і поліпшує здатність до відновлення сироваткової суміші порівняно з контрольним зразком, але його дія є доволі помірною.

Порівняння впливу сироваткових добавок на реологічні властивості сироваткових сумішей підтвердило, що найбільш доцільним є подальше дослідження їх складі ізоляту сироваткових білків за масової частки 3%. Обрана концентрація

цього інгредієнта дає змогу досягти максимального технологічного ефекту та містить вищий вміст білка на відміну від концентрату сироваткових білків.

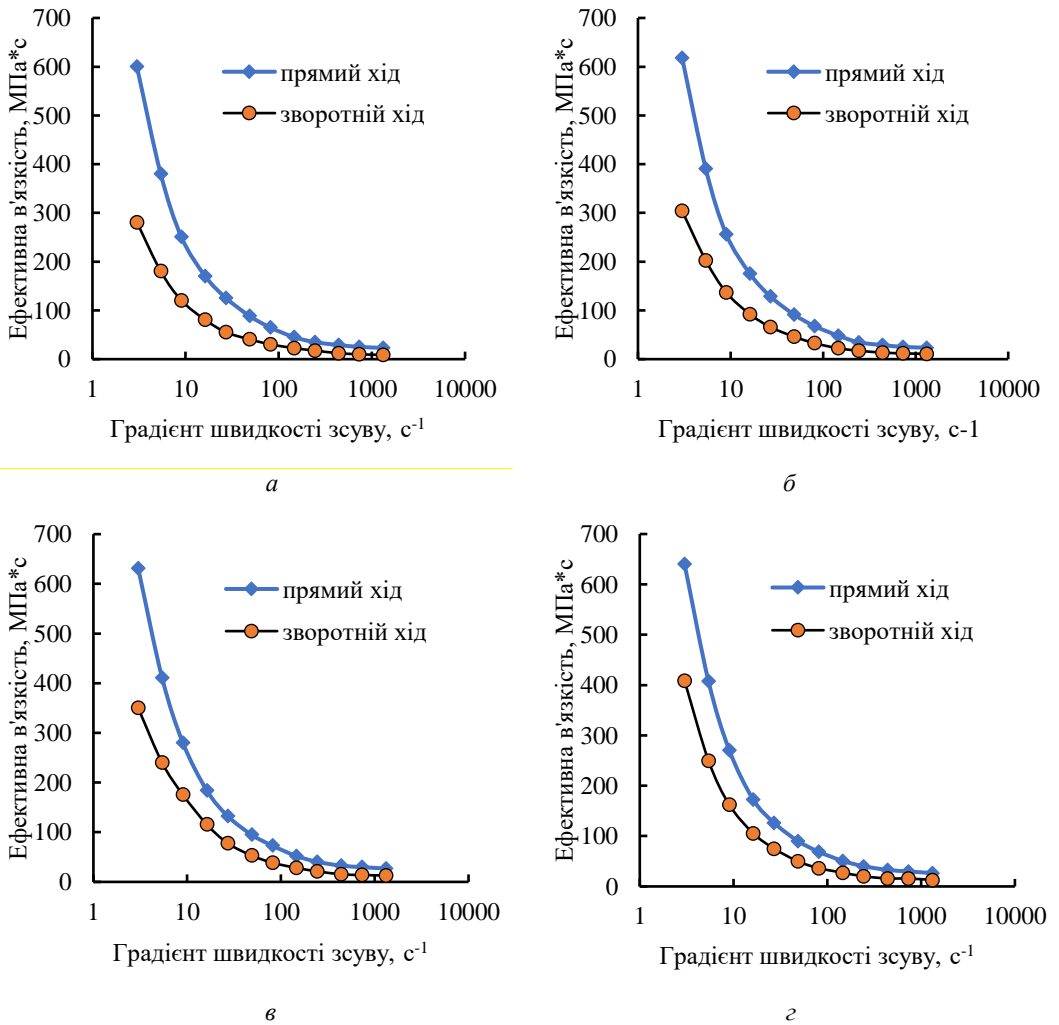


Рис. 2. Реограми течії сироваткових сумішей: а — контроль; б — 3% концентрат сироваткових білків; в — 3% ізолят сироваткових білків; з — 5% ізолят сироваткових білків

Висновки

1. За результатами вивчення піноутворюючих властивостей встановлено, що ізолят сироваткових білків (3—5%) забезпечує найвищий показник пінозбитості та піностійкості у складі сумішей морозива сироваткового серед усіх білкових добавок.

2. Вивчення реологічної поведінки сироваткових сумішей вказує на помірну здатність концентрату міцелярного казеїну (3%) до відновлення структури, в той час як ізолят соєвого білка (3%) не здатен утворювати стабільну сітку гелю, що

виявляється в погіршенні в'язко-пружних характеристик. Сироваткові добавки демонструють здатність до підвищення тиксотропних властивостей сумішей, що особливо помітно у випадку використання ізоляту сироваткових білків.

3. Ізолят сироваткового білка (3%) було обрано для подальшого дослідження в технології морозива сироваткового як інгредієнт, що забезпечує отримання харчової системи з вираженою здатністю до самочинного відновлення зв'язків.

4. Перспектива подальших досліджень полягає в дослідженні впливу ізоляту сироваткових білків на якісні показники морозива на основі рідких концентратів сироватки.

Подяка. Результати отримано в межах науково-дослідних робіт державного фінансування Проблемної науково-дослідної лабораторії НУХТ: «Розроблення технології повторного використання вторинних молочних ресурсів для виробництва нових продуктів та зменшення утворення харчових відходів» (державний реєстраційний номер 0124U000965) та «Наукове обґрунтування та розроблення ресурсоефективних технологій харчової продукції цільового призначення як імператив продовольчої безпеки України» (реєстраційний номер 0123U102060). Автори також висловлюють подяку АТ «Молочний Альянс», яке надало суху демінералізовану сироватку для проведення дослідження.

Література

- Abirached, C., Medrano, C. A., Araujo, A. C., Moyna, P., Añón, M. C., & Panizzolo, L. A. (2012). Comparison of interfacial and foaming properties of soy and whey protein isolates. *Journal of Food Science and Engineering*, 2, 376—381.
- Bass, O., Polischuk, G., Goncharuk, E. (2017). Investigation of viscous characteristics of ice cream mixtures with starch syrup. *Ukrainian Food Journal*, 6(2), 269—277. doi: 10.24263/2304-974X-2017-6-2-8.
- Belicui, C. M., Moraru, C. I. (2011). The effect of protein concentration and heat treatment temperature on micellar casein—soy protein mixtures. *Food Hydrocolloids*, 25, 1448—1460.
- Carter, B. G., Cheng, N., Kapoor, R., Meletharayil, G. H., Drake, M. A. (2021). Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *J. Dairy Sci.*, 104, 2465—2479.
- De Meneses, R. B., Moura, D. C. C., de Almeida, D. T., da Silva Bispo, E., Maciel, L. F., da Rocha-Leão, M. H. M., Conte-Junior, C. A. (2021). Impact of different dairy wheys on quality parameters of ice cream. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 16(1), 1—10.
- De Paula, I. L., Mesa, N. C., Contim, L. T., Ferreira, R. G., Pombo, A. F. W., de Carvalho da Costa, J., Perrone, I. T., & Stephani, R. (2024). The applicability of microparticulated whey protein as an ingredient in different types of foods and its functionalities: a current patent review. *European Food Research and Technology*, 250(2), 633—647.
- Fitzsimons, S. M., Mulvihill, D. M., Morris, E. R. (2008). Segregative interactions between gelatin and polymerized whey protein. *Food Hydrocolloids*, 22, 485—491.
- Goff, H. D., Hartel, R. W. (2013). In *Ice Cream*. Springer: Boston, MA, USA.
- Hammam, A. R. A., Martínez-Monteagudo, S. I., Metzger, L. E. (2021). Progress in micellar casein concentrate: Production and applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 20, 4426—4449.
- Hogan, S. A., Chaurin, V., O'Kennedy, B. T., Kelly, P. M. (2012). Influence of dairy proteins on textural changes in high-protein bars. *International Dairy Journal*, 26(1), 58—65.
- Kamińska-Dwórniczka, A., Łaba, S., Jakubczyk, E. (2022). The effects of selected stabilizers addition on physical properties and changes in crystal structure of whey ice cream. *LWT*, 154, 112841.
- Li, Y., Li, Y., Yuan, D., Wang, Y., Li, M., & Zhang, L. (2020). The effect of caseins on the stability and whipping properties of recombined dairy creams. *International Dairy Journal*, 105, 104658.

Liang, X., Ma, C., Yan, X., Zeng, H., McClements, D. J., Liu, X., Liu, F. (2020). Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium ions. *Food Hydrocolloids*, 102, 105569.

Lim, S. Y., Swanson, B. G., Clark, S. (2008). High hydrostatic pressure modification of whey protein concentrate for improved functional properties. *Journal of dairy science*, 91(4), 1299—1307. doi: 10.3168/jds.2007-0390.

Liszka-Skoczylas, M., Ptaszek, A., & Żmudziński, D. (2014). The effect of hydrocolloids on producing stable foams based on the whey protein concentrate (WPC). *Journal of Food Engineering*, 129, 1—11.

Long, Z., Zhao, M., Sun-Waterhouse, D., Lin, Q., & Zhao, Q. (2016). Effects of sterilization conditions and milk protein composition on the rheological and whipping properties of whipping cream. *Food Hydrocolloids*, 52, 11—18.

Lu, Y., McMahan, D. J., Vollmer, A. H. (2016). Investigating cold gelation properties of recombinant highly concentrated micellar casein concentrate and cream for use in cheese making. *Journal of dairy science*, 99(7), 5132—5143. doi: 10.3168/jds.2015-10791.

Maltais, A., Romondetto, G. E., Subirade, M. (2009). Soy protein cold-set hydrogels as controlled delivery devices for nutraceutical compounds. *Food Hydrocolloids*, 23, 1647—1653.

Marimon-Valverde, S., Lainez-Ramirez, S., Sepúlveda-Valencia, J. U., Mejia-Villota, A., & Rodriguez-Sandoval, E. (2024). Quality characteristics of low-fat ice cream mixtures as affected by modified cassava starch and hydrocolloids. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 123—132.

Oli, L. (2020). Ice Cream Nutrition and Its Health Impacts. *Acad. Res. J. Agri. Sci. Res.*, 8(3), 189—199.

Onwulata, C. I., Tunick, M. H., Mukhopadhyay, S. (2014). Flow behavior of mixed-protein incipient gels. *International journal of food properties*, 17(6), 1283—1302.

Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277—288.

Patil, A. G., & Banerjee, S. (2017). Variants of ice creams and their health effects. *MOJ Food Process. Technol.*, 4, 58—64. doi: 10.15406/mojfpt.2017.04.00088.

Pelegrine, D. H. G., Gasparetto, C. A. (2005). Whey proteins solubility as function of temperature and pH. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 77—88.

Rout, P., Saha, S. (2023). Rheology of ice cream: From fundamentals to applications. *Innovations in Agriculture*, 6, 01—01.

Roy, S., Hussain, S. A., Prasad, W. G., & Khetra, Y. (2022). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1), 100029.

Sapiga, V., Polischuk, G., Buniowska, M., Shevchenko, I., Osmak, T. (2021). Polyfunctional properties of oat β -glucan in the composition of milk-vegetable ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 10(4), 691—702. doi: 10.24263/2304974X-2021-10-45.

Shao, Y. Y., Lin, K. H., Kao, Y. J. (2016). Modification of foaming properties of commercial soy protein isolates and concentrates by heat treatments. *Journal of food quality*, 39(6), 695—706.

Shevchenko, O., Mykhalevych, A., Polischuk, G., Buniowska-Olejnik, M., Bass, O., Bandura, U. (2022). Technological functions of hydrolyzed whey concentrate in ice cream. *Ukr. Food J.*, 11, 498—517.

Sitnikova, P. B., Tvorogova, A. A. (2019). Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. *Food systems*, 2(2), 31—35.

Zhang, L., Li, Q., Zhang, W., Bakalis, S., Luo, Y., Lametsch, R. (2024). Different source of commercial soy protein isolates: Structural, compositional, and physicochemical characteristics in relation to protein functionalities. *Food Chemistry*, 433, 137315.

Zhao, Y., Khalesi, H., He, J., Fang, Y. (2023). Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese. *Food Hydrocolloids*, 108493. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108493.

UNFILTERED WINES IN MODERN WINEMAKING: IMPACT OF NON-FILTRATION ON PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY CHARACTERISTICS OF FILTRATION

V. Kucherenko^{1,2}, O. Uspalenko^{1,2}, A. Marchenko¹

¹National University of Food Technologies

²LLC "RPC "Ukrainian Wine Institute"

Key words:

Unfiltered wine
Filtration
Sensory analysis
Wild yeast
Filtered wines

Article history:

Received 12.03.2024
Received in revised form
29.03.2024
Accepted 09.04.2024

Corresponding author:

V. Kucherenko

E-mail:

ukrvinprom_kyiv@ukr.net

Citation: Кучеренко В. М., Успаленко О. В., Марченко А. Ю. (2024). Нефільтровані вина в сучасному виноробстві: вплив відсутності фільтрації на фізико-хімічні та органолептичні показники. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 136—144.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-12

ABSTRACT

With each passing year, consumers become more conscious of the processes underlying food and beverage production, leading to a sharp increase in demand for natural, organic, and bio-dynamic products. Wine is subject to trends and techniques, with the trend of unfiltered wine gaining popularity in the winemaking industry, although it is not something entirely new.

In modern winemaking, the question arises about the profitability of producing unfiltered wines as an alternative direction, potentially having high demand and competitiveness in the global market. Some producers argue that unfiltered wines possess unique qualities preserved by the absence of filtration, while other researchers and oenologists express various viewpoints regarding the impact of filtration on the taste and aroma of wine.

This research was aimed on investigation the influence of the absence of filtration on the physicochemical and sensory indicators of white, rosé, and red wines. To achieve this goal, a comparative analysis of filtered and unfiltered wines was planned from the perspective of their composition and properties. Physicochemical analysis involved studying parameters such as sugar content, acidity, alcohol, and other chemical components. Sensory analysis included the evaluation of taste, aroma, and color palette of wines using sensory methods.

The research results can serve as a basis for wine producers in making decisions regarding the production and marketing of unfiltered wines, taking into account consumer demand and the peculiarities of manufacturing technology. Considering factors such as grape selection and the manufacturing process will allow the development of optimal strategies to achieve high quality and competitiveness in the production.

НЕФІЛЬТРОВАНИ ВІНА В СУЧАСНОМУ ВИНОРОбСТВІ: ВПЛИВ ВІДСУТНОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ПОКАЗНИКИ

В. М. Кучеренко^{1,2}, О. В. Успенко^{1,2}, А. Ю. Марченко¹

¹Національний університет харчових технологій,

²ТОВ «НВЦ «Український інститут вина»

З кожним роком споживачі стають більш свідомими щодо процесів, які лежать в основі їжі та напоїв, попит на натуральні, органічні та біодинамічні продукти різко зріс. Вино підпорядковується трендам і технікам. Тренд нефільтрованого вина зараз стає все більш популярнішим у виноробній промисловості, хоча це не є чимось новим.

У сучасному виноробстві виникає питання про вигідність виробництва нефільтрованих вин як альтернативного напрямку, що має потенційно високий попит і конкурентоспроможність на світовому ринку. Деякі виробники стверджують, що нефільтровані вина мають унікальні якості, які зберігаються завдяки відсутності фільтрації, водночас інші дослідники та енологи висловлюють різні точки зору щодо впливу фільтрації на смак та аромат вина.

У статті досліджено вплив відсутності фільтрації на фізико-хімічні та органолептичні показники білого, рожевого та червоного вина. Для досягнення цієї мети проведено порівняльний аналіз фільтрованих і нефільтрованих вин з точки зору їх складу та властивостей, а також фізико-хімічний аналіз, що передбачає вивчення таких параметрів, як вміст цукру, кислот, спирту та інших хімічних складових. Органолептичний аналіз включає оцінку смаку, аромату та колірної гами вин за допомогою сенсорних методів.

Результати дослідження можуть служити підставою для виробників вина в ухваленні рішень щодо виробництва та маркетингу нефільтрованих вин, зважаючи на попит споживачів та особливості технології виготовлення. Врахування факторів, таких як вибір винограду та технологічний процес виготовлення, дасть змогу розробити оптимальні стратегії для досягнення високої якості та конкурентоспроможності продукції.

Ключові слова: нефільтроване вино, фільтрування, сенсорний аналіз, дикі дріжджі, стелаж, фільтровані вина.

Постановка проблеми. Головними завданнями сучасного виноробства, що потребують перманентної уваги, є забезпечування високої якості і конкурентоспроможності готової продукції.

Виробники вина стверджують, що нефільтровані вина не тільки користуються високим попитом, а й приносять прибуток, який може бути конкурентоспроможним на ринку не лише України, а й у світі. Тож необхідність запровадження виробництва нефільтрованих вин вітчизняними виробниками є актуальним завданням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку зі зростанням популярності натурального виноробства деякі виробники стверджують, що фільтрація негативно впливає на характер вина. На їхню думку, фільтрація призводить до отримання менш ароматного вина з більш простим смаком. Або, відповідно, нефільтровані вина, навпаки, більш ароматні та цікаві (Seufert, Ramankutty, & Mauerhofer, 2017).

Натомість деякі енологи вважають, що фільтрація позбавляє частину «корисності» вина — частину його смаку, аромату й текстури (тіла), інші, навпаки, думають, якщо вино має опалесценцію та містить осад, то воно поганої якості (Hooke, 2023; Ochs, 2021). Незважаючи на дискусію, все більше виноробів виготовляють нефільтроване вино, яке з кожним роком набуває більшого попиту.

Для того, щоб зробити певні висновки, важливо зрозуміти, як технічно відрізняється фільтроване від нефільтрованого вина. Нефільтроване вино — це вино, що не пройшло через фільтрувальне середовище для захоплення частинок, які вважалися б дефектними у звичайному вині. Як правило, це робиться за допомогою сита та фільтр-картону, часто з кількома проходами для поступового захоплення більш дрібних частинок. Завершальний прохід вина через фільтр захоплює дріжджі. Якщо дріжджі залишаться у вині, яке має залишковий цукор, воно почне повторно бродити у пляшці (Nyurenberger, Kazak, & Dorofeeva, 2019).

Удосконалення технологій виноробства та краще розуміння того, як найкраще зберігати вино, щоб уникнути псування, означають, що тепер набагато безпечніше експериментувати з нефільтрованими винами.

Відомо, що в процесі виробництва вина за класичною технологією очищення та фільтрація є двома дуже важливими етапами. По-перше, вони очищають вино, роблячи його прозорим і чистим; по-друге, вони роблять вино більш стабільним, запобігаючи його псуванню або повторному окисленню. Що стосується оклейки, то використані матеріали можуть включати риб'ячий клей, бентоніт, желатин і яєчний білок. Коли домішки досягають певної ваги та осідають на дні пляшки, їх можна легко видалити (Herve, 2022; Ruiz-Rico, Garcia-Rios, & Guillamon, 2021). Процедура фільтрації також дуже проста, потрібно лише пропустити вино через мембрану з маленькими отворами, щоб тверді речовини у вині, такі як дріжджі та бактерії, залишилися на мембрані (Clarke, 2023).

У той час, як одні споживачі цінують консистенцію та блиск відфільтрованих вин, інші шукають глибину й автентичність нефільтрованих вин (Galati, Schifani, & Migliore, 2019).

Однак, згідно з дослідженнями нефільтрованих вин, можна виділити декілька переваг, які впливають на кінцевий результат:

- необхідно збирати тільки визрілий, а не перезрілий виноград. Переробка винограду із захворюваннями, дефектами чи забрудненнями негативно впливає на вино, а також не можна збирати занадто стиглий виноград, оскільки все це створює надмірний ризик для псування нефільтрованих вин.

- технологія супроводжується більш дбайливим поводженням з виноматеріалом. Для того, щоб розливати у пляшки без фільтрації, необхідно м'яко та природно провести освітлення. Це непросте завдання. Для фільтрованого вина спочатку переливаємо вино з бочки за допомогою насосів, а потім фільтруємо, щоб

отримати прозорість. Для природного освітлення та розливу в пляшки без фільтрації не потрібно турбувати бочки/резервуари (або зберігати вино у резервуарах) протягом кількох місяців, щоб ущільнити осад і отримати прозорість. Потім обережно знімаємо вино з осаду, переливаючи його з бочки/резервуара під дією сили тяжіння (сифонування) у захищений від кисню відстійник. Для цього потрібен час, простір, терпіння та багато навичок, не кажучи вже про значну втрату вина, яке зависло в шарі осаду на дні кожної бочки (Шиян, & Сосницький, 2017).

- збереження органолептичних властивостей. Щойно розлитому відфільтрованому вину може знадобитися багато місяців, щоб відновити деякі аромати та смаки, втрачені через фільтрацію, і вони можуть більше ніколи не досягти рівня, якого досягли в бочці/резервуарі до фільтрації. Щодо нефільтрованого вина, то воно залишається яскравим та виразним, як і в бочці/резервуарі (Yana, Barth, & Sao, 2022).

Мета дослідження: дослідити вплив відсутності фільтрації на фізико-хімічні й органолептичні показники білого, рожевого та червоного вина.

Для реалізації мети необхідно провести порівняльний фізико-хімічний аналіз фільтрованих і нефільтрованих вин, а також порівняльний органолептичний аналіз фільтрованих і нефільтрованих вин.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження були фільтровані та нефільтровані вина із сортів винограду: Одеський чорний, Шардоне, Аліготе, Рислінг рейнський, Трамінер рожевий, Ркацителі, Сухолиманський білий та Піно Нуар.

Досліджувальні зразки вин виготовляли такими способами:

- біле: купажуванням сортів винограду Шардоне, Аліготе, Рислінг рейнський, Ркацителі та Сухолиманський білий, Трамінер рожевий;
- рожеве: із сорту винограду Піно Нуар переробленого за «білим» способом;
- червоне: із сорту винограду Одеський чорний, Піно Нуар, переробленого за «червоним» способом.

Фільтровані вина виготовлялися за класичною технологією виробництва (Goldammer, 2022).

Нефільтроване біле та рожеве вино перед пресуванням і подачею на відділення суслу-самопливу м'язга охолоджувалася до температури 10—12 °C та настоювалася протягом 4—6 год для посилення сортового аромату, повноти і типовості. Після цього сусло направляли на відстоювання терміном до 24 год за температури 10—12 °C. Освітлене сусло білих сортів знімалося з осаду і зброджувалося на диких (природних) дріжджах за температури не вище 26 °C.

Під час виробництва нефільтрованого вина бродіння сусла на м'яззі проводилося у закритих ємностях із зануреною «шапкою» на диких (природних) дріжджах при температурі не вище 32 °C. У процесі бродіння у відкритій ємності з плаваючою «шапкою» м'язга ретельно перемішувалася 3—4 рази на добу.

Після того, як відповідна кількість дубильних речовин (антоціанів) накопичилася у достатній кількості у м'яззі, вона направляється на пресування. Одержане сусло направлялося на доброджування. Провівши витримку нефільтрованого вина на дріжджовому осаді, ми зазначили, що це надає готовому вину інших органолептичних властивостей.

Витримка на осаді, також відома як *sur lie*, що з французької означає «на

осадах», — це процес дозрівання і старіння білих та ігристих вин на відпрацьованих дріжджах та інших твердих частинках. Осадовий побічний продукт бродиння має молочний вигляд і гладку консистенцію. У той час, як тривалий контакт з осадом може негативно вплинути на смак деяких вин, у нашому випадку осад надав упізнаваності та особливих характеристик. Завдяки цьому процесу вина набувають округлого та вершкового смаку, дріжджових нот (Leveque, 2021).

Витримка на осаді відбувається, коли вино знаходиться в бочці або пляшці. Але взаємодія між осадом і бочкою також важлива, особливо для білих вин. Різні молекули осаду вступають у реакцію на різних етапах витримки та дозрівання. Головною перевагою витримки на осаді є запобігання небажаному окисленню вина.

Після перших кількох місяців мертві дріжджові клітини руйнуються шляхом автолізу та починають виділяти свої сполуки у вино. У результаті перемішування осаду замість того, щоб просто залишати його на дні бочки/резервуара протягом усього періоду витримки, створилась більш рівномірна взаємодія з вином у ємності. Під час цього процесу руйнуються клітинні стінки дріжджів, вивільняючи сполуки у вино (Maykish, Rex, & Sikalidis, 2021).

Ми використовували метод стелаж (сутираж), щоб усунути мікробну активність у нефільтрованому вині. Метод передбачає переміщення вина з однієї бочки в іншу за допомогою сили тяжіння, а не насоса, коли замість фільтрування дріжджів вино просто відстоюється деякий час. Таким чином частинки дріжджів осідають природним шляхом під дією сили тяжіння. Після цього вино відбирають від осаду. Цей процес пом'якшує таніни, освітлює вино та підсилює ароматичні якості. Це допомагає освітлити й освіжити вино, видаляючи дрібний осад.

Порівняльна дегустація фільтрованих і нефільтрованих вин проходила в добре освітленій і нейтральній кімнаті для сенсорної оцінки з 15 окремими дегустаційними кабінами відповідно до ISO 3501. Для створення ароматичних і смакових профілів застосували описовий метод. Шкала оцінювання була від 0 (не відчувається) до 5 (інтенсивне відчуття) за дескрипторами: сортові властивості, прозорість, повнота, тіло, гармонійність (Lopez-Agroyo, 2020). Зразки вина кодували та подавали на дегустацію охолодженими до температури 16 °C. У дегустаційному аналізі брали участь 10 експертів.

Викладення основних результатів дослідження. Аналіз результатів досліджень зразків за основними фізико-хімічними показниками якості дав змогу встановити, що нефільтровані вина не значно відрізняються за фізико-хімічними показниками, якщо порівняти з фільтрованими. Однак показники приведенного екстракту в нефільтрованому вині дещо вищі, що вказує на більшу повноту та густоту вина. (табл. 1).

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники нефільтрованого та фільтрованого вина білого, рожевого, червоного

Показники	Фільтровані вина	Нефільтровані вина
Об'ємна частка етилового спирту, %	11,5±1,08	11,7±1,08

Масова концентрація цукрів, г/дм ³	1,24±0,2	1,4±0,2
Масова концентрація титрованих кислот, у перерахунку на винну кислоту, г/дм ³	6,2±0,4	6,4±0,4
Масова концентрація легких кислот, у перерахунку на оцтову кислоту, г/дм ³ : - білі, рожеві - червоні	0,49±0,2 0,54±0,03	0,48±0,2 0,66±0,03
Масова концентрація приведенного екстракту, г/дм ³	15,0	17,0

Під час дослідження органолептичних показників фільтрованого та нефільтрованого вина дегустатори провели порівняльний аналіз (табл. 2).

Таблиця 2. Порівняльний органолептичний аналіз фільтрованих і нефільтрованих вин

Показники	Характеристика	
	Фільтроване вино	Нефільтроване вино
Прозорість	Прозоре з блиском	З легкою опалесценцією та легким дріжджовим осадом
Колір: - білого - рожевого - червоного	світло-солом'яний із зеленуватим відтінком; світло-рожеве; рубіновий	солом'яний із легкими золотистими відтінками; рожеве із лососевими відтінком; темно-червоний із гранатовим відтінком
Аромат: - білого - рожевого - червоного	чистий, сортовий, квітковий; чистий, сортовий, з легкими тонами барбарису; чистий, насичений, з тонами чорних ягід	чистий, сортовий, квітковий із тонами свіжих яблук, агрусу; чистий, сортовий, з вираженими тонами барбарису; чистий, насичений, з тонами чорних ягід та вишні
Смак: - білого - рожевого - червоного	повний, гармонійний, з тонами свіжих фруктів, з легким відтінком чайної троянди; повний, гармонійний з легкими тонами барбарису та полуниці; повний, гармонійний з тонами смородини, вишні та приємними танінами	повний, гармонійний, з тонами персика, кремовими тонами та вираженими нотами чайної троянди; повний, гармонійний з тонами барбарису та полуниці з вершками; повний, гармонійний, оксамитовий, з насиченим смаком смородини, вишні та приємними танінами

Відсутність фільтрації значно впливає на показник прозорості нефільтрованих вин. У зразках присутня легка опалесценція та спостерігається незначна кількість осаду (як у пляшці, так і в бокалі).

Усі дослідні зразки фільтровані і нефільтровані гармонійні, збалансовані та повнотілі. Нефільтроване червоне вино відзначається структурованим і вишуканим смаком. Відсутність фільтрації суттєво підвищила щільність і повноту, що сприяє загальній структурі цього вина, забезпечуючи йому додаткову складність і подовжуючи його післясмак.

Порівняно з фільтрованим вином, біле нефільтроване вино має в смаку кремові відтінки, які з'явилися внаслідок витримки на осаді. Крім того, воно володіє більш насиченим ароматом чайної троянди, яка відповідає сортовій властивості винограду, що використовується в купажі.

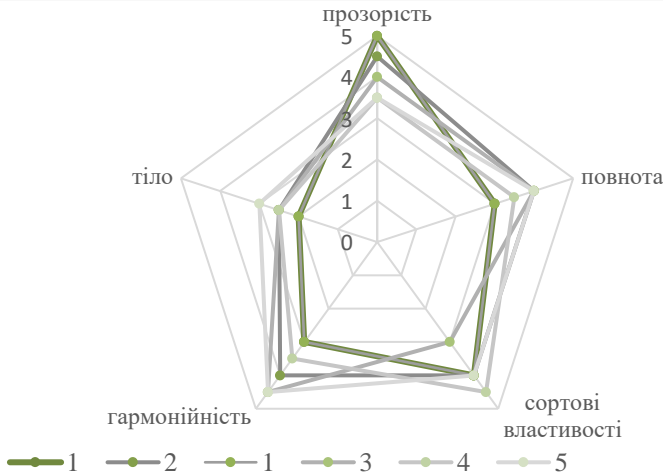


Рис. Профілограма порівняння смаку та аромату фільтрованого (Ф) та нефільтрованого (НФ) вина: 1 — Ф біле ; 2 — Ф рожеве; 3 — Ф червоне; 4 — НФ біле; 5 — НФ рожеве; 6 — НФ червоне

Суттєва різниця була помічена в оцінці «прозорості», оскільки нефільтровані вина мають легку опалесценцію та дріжджовий осад у зв'язку з відсутністю фільтрування.

Також значно відрізняється оцінка «сортових властивостей» і «гармонійності». Фільтровані вина оцінили, як такі, що мають менш виражені «сортові властивості» та нижчу «гармонійність», ніж нефільтроване вино.

За дескрипторами «повнота» й «тіло» було відмічено розбіжність в оцінках на один бал на користь нефільтрованих вин. Це пов'язано з більшим вмістом введеного екстракту, який головним чином відповідає за «повноту» смаку у вині.

Висновки

Дослідження підтверджують, що відсутність фільтрації позитивно впливає на органолептичні та фізико-хімічні показники. Цей підхід збагачує вино більшим

спектром ароматів і смаків, а витримка на осаді додає йому округлого та вершкового смаку.

Під час органолептичних досліджень нефільтровані вина продемонстрували відмінну якість порівняно з фільтрованими. Навіть при наявності легкої опалесценції та осаду, який осідає на дні пляшки і не потрапляє в бокал під час наливання, це не вплинуло на жоден з параметрів якості, окрім прозорості. Такий тип виноробної продукції заслуговує на своє місце серед інших завдяки своїй унікальності.

Зокрема, у виноробстві, де фільтрація може бути не вигідною, результати наших досліджень підтверджують такі переваги нефільтрованих вин:

- збереження смаку й аромату: у нефільтрованому вині зберігаються сполуки, що сприяють більшому розмаїттю ароматів та смаків у готовому продукті;
- природне вираження: нефільтровані вина частково передають автентичний характер регіону вирощування винограду;
- текстура: нефільтровані вина вражають різноманітністю смакових відчуттів, які є більш насиченими та складнішими. У фільтрованих винах без твердих частинок структура значно змінюється, що впливає на загальне враження від вина.

Література

Лежерон, І. (2019). *Натуральне вино. Вступ до органічних та біодинамічних вин, які виготовляють природних способом. Журнал «Напої. Технології Та Інновації»*. Львів: Видавництво Старого Лева. Взято з: <https://techdrinks.info/organicni-biodynamichni-ta-naturalni-vyna-shho-potribno-znaty-pro-naturalne-vynorobstvo>.

Шиян, П. Л., Сосницький, В. В. (2017). *Алкогольні напої — досвід поколінь (технологія, обладнання, рецептури)*. Київ: Інтерсервіс, 82—93.

Clarke, J. (2023). *The Science of Lees Aging. Seven fifty Daily*. Взято з: <https://daily.sevenfifty.com/the-science-of-lees-aging/>.

Galati, A., Schifani, G., Crescimanno, M., Migliore, G. (2019). “Natural wine” consumers and interest in label information: An analysis of willingness to pay in a new Italian wine market segment. *J. Clean. Prod.*, 227, 405—413. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.219>.

Goldammer, T. (2022). *Wine Production. Science and Technology of Winemaking*. USA: Apex Publishers. Взято з: <https://www.wine-production.com/>.

Hervé, A. (2022). Aging on lees and their alternatives: Impact on wine. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 213—244. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102065-4.00010-9>

Hooke, H. (2023). Why some winemakers think filtering removes the ‘goodness’ of the wine. *Good food*. Взято з: <https://www.smh.com.au/goodfood/tips-and-advice/why-some-winemakers-think-filtering-removes-the-goodness-of-the-wine-20230929-p5e8ka.html>.

Leveque, S. (2021). The Case for Unfiltered Wine. Взято з: <https://www.kehretvineyards.com/blog/The-Case-for-Unfiltered-Wine--or-Filter-Water--Not-Wine-->.

López-Arroyo, B. (2020). What wine descriptors really mean. *International Journal of Wine Research*, 31(4), 301—321. Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/09571264.2020.1854701>.

Maykish, A., Rex, R. K., Sikalidis, A. (2021). Organic Winemaking and Its Subsets; Biodynamic, Natural, and Clean Wine in California. *Foods*, 10(1), 127. Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/foods10010127>.

Nyurenberger, L. B., Kazak, A. N., Dorofeeva, A. A. (2019). Wine tourism and the introduction of new technologies in winemaking and viticulture. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 315(7), 072040. Режим доступу: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/7/072040>.

Ochs, A. (2021). A closer look at winery filtration methods & filtration solutions. *The Grapevine Magazine*. Взято з: <https://thegrapevinemagazine.net/2021/09/a-closer-look-at-winery-filtration-methods-filtration-solutions/>.

Ruiz-Rico, M., García-Ríos, E., Barat, J. M., Guillamón, J. M. (2021). Microbial stabilisation of white wine by filtration through silica microparticles functionalised with natural antimicrobials. *LWT. Food Science and Technology*, 149. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111783>.

Seufert, V., Ramankutty, N., Mayerhofer, T. (2017). What is this thing called organic? — How organic farming is codified in regulations. *Food Policy*, 68, 10—20. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.12.009>.

Yang, C., Barth, J., Katumullage, D., Cao, J. (2022). Wine Review Descriptors as Quality Predictors: Evidence from Language Processing Techniques. *Journal of Wine Economics*, 17(1), 1—17. Режим доступу: <https://doi.org/10.1017/jwe.2022.3>.

CHANGES IN STRUCTURAL UNITS IN WHEAT FLOUR DOUGH AND BREAD WITH PUMPKIN SEED PROTEIN CONCENTRATE AND PHOSPHOLIPIDS

A. Shevchenko, S. Litvynchuk

National University of Food Technologies

Key words:

Pumpkin seed protein concentrate
Wheat flour
Dough
Infrared spectroscopy

Article history:

Received 12.03.2024
Received in revised form 29.03.2024
Accepted 16.04.2024

Corresponding author:

A. Shevchenko

E-mail:

nastyusha8@ukr.net

Citation: Шевченко А. О., Літвінчук С. І. (2024). Зміни структурних одиниць у тісті та хлібі з пшеничного борошна з концентратом гарбузового протеїну і фосфоліпідами. *Наукові праці НУХТ*, 30(2), 145—153.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-13

ABSTRACT

The problem of the low nutritional value of bakery products made from wheat flour has been of interest for decades and causes the search for opportunities to increase it. In recent years, in view of the military aggression, the issue of the deterioration of the ecological and economic situation in Ukraine and the world has also become relevant, as a result of which food security has suffered a significant negative impact. The solution to this problem can be the inclusion in the recipe of bakery products from wheat flour sources of complete proteins, which, in addition to high biological value, will have a positive physiological effect on the human body. Such a source is pumpkin seed protein concentrate, which, in combination with a lipid component, will be useful for people with diseases of the gastrointestinal tract. It was established that the fractional composition of the pumpkin seed protein concentrate contains 20.4% of the water fraction, 2.8% of the salt fraction, 5.1% of the alcohol fraction, and mostly the alkaline fraction — 71.7%. Unlike wheat flour, this raw material does not contain gluten proteins, which will affect the formation of the gluten frame of the dough and its properties.

Infrared spectra of raw materials indicated that the spectrum of wheat flour has a higher intensity of reflection than the spectrum of pumpkin seed protein concentrate. All three spectra have a unique character and mostly do not have coincident peaks in the entire range. This indicates a different composition and different nature of the studied raw materials. The available peaks on the spectra indicate the presence of a higher amount of lipids in the pumpkin seed protein concentrate than in wheat flour and non-gluten proteins, instead its protein substances form complexes with flour proteins and delay its development.

ЗМІНИ СТРУКТУРНИХ ОДИНИЦЬ У ТІСТІ ТА ХЛІБІ З ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА З КОНЦЕНТРАТОМ ГАРБУЗОВОГО ПРОТЕЇНУ І ФОСФОЛІПІДАМИ

А. О. Шевченко, С. І. Літвинчук

Національний університет харчових технологій

Питання невисокої харчової цінності хлібобулочних виробів з пшеничного сортового борошна протягом десятиліть викликає інтерес та зумовлює пошук можливостей її підвищення. Протягом останніх років, зважаючи на військову агресію, актуальним стало також питання погіршення екологічної та економічної ситуації в Україні та світі, внаслідок чого продовольча безпека зазнала суттєвого негативного впливу. Вирішенням цієї проблеми може бути включення в рецептуру хлібобулочних виробів з пшеничного борошна джерел повноцінних білків, які, крім високої біологічної цінності, матимуть позитивний фізіологічний вплив на організм людини. Таким джерелом є концентрат гарбузового протеїну, який в поєднанні з ліпідною складовою буде корисним для осіб з хворобами шлунково-кишкового тракту. Встановлено, що за фракційним складом концентрат гарбузового протеїну містить 20,4% водної фракції, 2,8% — сольової, 5,1% — спиртової фракція, а лужної найбільше — 71,7%. Ця сировина на відміну від пшеничного борошна не містить клейковинних білків, що вплине на утворення клейковинного каркасу тіста та його властивості.

Інфрачервоні спектри сировини свідчать про те, що спектр пшеничного борошна має вищу інтенсивність відбиття, ніж спектр концентрату гарбузового протеїну. Усі три спектри мають унікальний характер і переважно в усьому діапазоні не мають піків, які збігаються. Це вказує на різний склад і різну природу досліджуваної сировини. Наявні піки на спектрах свідчать про наявність вищої кількості ліпідів у концентраті гарбузового протеїну, ніж у пшеничному борошні та неклейковинних білках, натомість його білкові речовини утворюють комплекси з білками борошна та затримують її розвиток.

Ключові слова: концентрат гарбузового протеїну, пшеничне борошно, тісто, інфрачервона спектроскопія.

Formulation of the problem. The problem of the low nutritional value of bakery products made from wheat flour has been of interest for decades and causes the search for opportunities to increase it. In recent years, in view of the military aggression, the issue of the deterioration of the ecological and economic situation in Ukraine and the world has also become relevant, as a result of which food security has suffered a significant negative impact. The solution to this problem can be the inclusion in the recipe of bakery products from wheat flour sources of complete proteins, which, in addition to high biological value, will have a positive physiological effect on the human body. Such a source is pumpkin seed protein concentrate, which, in combination with a lipid component, will be useful for people with diseases of the gastrointestinal tract, such as irritable bowel syndrome, and will not cause allergic reactions, unlike animal proteins (Сімахіна, Науменко, & Башта, 2020).

Analysis of recent research and publications. Pumpkin seeds are a valuable source of physiologically functional ingredients, due to which it and its processing products can be rationally used in the production of products to provide them with healthy properties and increase their nutritional value.

Research on the use of whole pumpkin seed powder in bread technology showed that its addition does not significantly affect the moisture content and acidity of semi-finished products and finished products. Powder from germinated seeds led to a slight increase in these indicators. Thus, the moisture content of bread crumb increased by 0.2—1.3% in the case of adding powder from ungerminated seeds and by 0.5—2.2% — from germinated seeds. It was established that 5% of the powder in the case of ungerminated seeds resulted in better aroma and taste of bread. The content of mineral substances increased: iron by 230%, magnesium by 116%, and potassium by 118%, phosphorus by 13% (Gumenuk, Zamay, Cibula, Hrebtan, & Volkova, 2021).

The influence of dosages of pumpkin flour from 0% to 80% of the replacement of wheat flour was studied. As the amount of pumpkin flour increased, the specific volume of bread decreased. Moisture, ash, fat, crude fiber and carbohydrate content increased with increasing pumpkin flour content. According to physico-chemical and sensory properties, the best ratio of wheat and pumpkin flour was 80:20%. In such case the protein content was 8.19%, fat — 5.08%, crude fiber — 0.89% and carbohydrates — 46.52%, respectively. It was established that the specific volume of bread with this recipe was 1.4 cm³/g (Dewi Tuhumury, Mailoa, & Matinahoruw, 2023).

The possibility of introducing protein isolate of pumpkin cake in the production of millet bread was studied. 5%, 10% and 15% of millet was replaced with protein isolate. The viscosity of the dough increased, which was determined using farinograph, the elasticity decreased. However, after 24 h of storage, crumb hardening was less compared to the sample without the additive. Also, the bitter taste inherent in millet flour decreased (Tomić et al., 2018).

The use of pumpkin seed milk for the production of bread in the amount from 0 to 40 ml was studied. The content of crude protein, crude fiber, ash, moisture, carbohydrates in bread with pumpkin seed milk gradually increased with an increase in the proportion of milk, and the values from 40 ml had the highest values: 39.50% moisture, 12.50% protein, 2.20% crude fiber, 2.65% ash, 63.25% carbohydrates, while the lowest values were recorded for the control sample. No significant differences were observed between the specific volume, porosity and dimensional stability of products with pumpkin seed milk. According to organoleptic indicators, there were significant differences when adding 40 ml of pumpkin seed milk: the color of the crust, taste, and aroma improved (Elechi, Adamu, & Salihu, 2020).

The use of pumpkin protein in the technology of wheat bread has not been deeply studied and is not widespread, so this direction is relevant, considering the significant concentration of protein in this raw material.

Raw materials rich in protein are recommended to be consumed in combination with a lipid component. Sunflower lecithin is rich in phospholipids, which also has emulsifying properties (Stremmel, Vural, Evliyaoglu, & Weiskirchen, 2021).

The purpose of the research was to determine the effect of pumpkin seed protein concentrate in combination with sunflower lecithin on the nature of structural unit changes in bread dough.

Materials and methods. *Sample preparation.* High grade wheat flour, sunflower lecithin, and pumpkin seed protein concentrate were used for research.

Dough samples were prepared in a steamless way with the addition of pressed baker's yeast and salt. Lecithin in the amount of 3% was added to the mass of flour. To determine the rational dosage of pumpkin seed protein concentrate, it was added in the amount of 5%, 10% and 20% to the mass of flour in order to provide 20, 30 and 40% of the daily protein requirement. The sample without additives was the control.

Fractional composition of protein. To prepare the sample, pumpkin seed protein concentrate was sifted through a mesh sieve to obtain a fine powder. Raw materials were degreased with pentane. The suspension was mixed in a ratio of 1:10 wt./vol. for 24 hours, then the solvent was removed by centrifugation.

Determination of the fractional composition of the protein was carried out by the method of differential extraction according to Osborn. According to the protein method, pumpkin seed protein concentrate was fractionated from pentane-defatted raw materials (Horax, Hettiarachchy, Over, Chen, & Gbur, 2010). The suspension (20 g of raw material in 100 mL of deionized water) was mixed for 2 hours at room temperature and centrifuged at 20,000 rpm for 30 minutes to separate the supernatant from the pellet and obtain the deionized water extract. The precipitate of the aqueous extract was placed in 100 ml of 1 M NaCl solution and mixed as above. The supernatant obtained after centrifugation was extracted with 100 ml of deionized water at pH=1 with a 0.5 M NaOH solution, resulting in an alkaline extract. The extraction was carried out twice, after which it was washed twice with 20 ml of solvent to collect residual protein captured by insoluble residues. The obtained extracts were precipitated for isolation by adjusting the pH of the obtained supernatant to the pH corresponding to the minimum solubility (pH_{ms}) determined by the turbidity experiment (Rezig et al., 2013). The pH value was adjusted with 1 M NaOH or 1 M HCl solutions in alkaline or acidic medium, respectively. After centrifugation for 15 minutes at 15,000 rpm, the protein precipitate was washed twice with deionized water at the appropriate pH_{ms} and centrifuged again. The obtained protein fractions were redissolved, adjusting the pH to 7.0 and lyophilized (Rezig, Riaublanc, Chouaibi, Guéguen, & Hamdi, 2015).

Infrared spectroscopy in the near infrared region. The reflection spectra of ground samples with a smooth surface were studied on an Infrapad spectrometer (Labor-Mim, Hungary) in the near-infrared range of wavelengths from 1330 to 2370 nm. The spectrometer recorded the reflection spectrum from the I0 standard and the reflection spectrum from the sample under study. The spectra are presented as reflectance R in relative units (ratio of intensities $I/I_0 = R$), depending on the wavelength in nm (Litvynchuk et al., 2022; Niewietetzki, Tillmann, Becker, & Mollers, 2010). The intensity of reflection was measured in the dough after kneading and after 3.5 hours of fermentation. The reflection intensity was expressed by recalculating the relative reflection coefficient to the spectral index (Yip, Gausemel, Sande, & Dyrstad, 2012).

Statistical analysis. Data presented are the arithmetic mean of three replicates \pm standard deviation.

Results and discussion. Pumpkin seed protein concentrate has a composition and properties different from wheat flour (Шевченко, 2023а; Шевченко, 2023б). In particular, according to the fractional composition, 20.4% is the water fraction, 2.8% is the salt fraction, 5.1% is the alcohol fraction, and the most alkaline is 71.7%. Unlike wheat

flour, this raw material does not contain gluten proteins, which will affect the formation of the gluten frame of the dough and its properties.

A change in the composition of recipe components leads to a change in the properties of the dough, redistribution of its structural components. To determine and analyze the main nutrients in raw materials and their influence on processes in dough and bread, a study was conducted using the reflection spectrum in the near infrared region (Baslar, & Ertugay, 2011). The spectra of wheat flour, pumpkin seed protein concentrate, and sunflower lecithin are shown in Fig. 1.

The obtained results showed that the spectrum of wheat flour had a higher reflection intensity than the spectrum of pumpkin seed protein concentrate. All three spectra had a unique character and mostly did not have coincident peaks in the entire range. This indicates a different composition and different nature of the studied raw materials.

The first minimum of reflection intensity for sunflower lecithin was at 1450 nm, for wheat flour — at 1460 nm, and for pumpkin seed protein concentrate this extremum shifted to 1500 nm. The next minimum for sunflower lecithin was at 1720 nm, which was also present in the pumpkin seed protein concentrate spectrum but absent for the wheat flour spectrum. This length is related to lipid components and indicates the absorption of carbonyl esters of fats. The pronounced extremum for sunflower lecithin is explained by the presence of a large amount of phosphatidylcholine in its composition, and the presence of a fat component in pumpkin seed protein concentrate, since pumpkin seeds contain a large amount of fat components.

At a wavelength of 1740 nm, the spectrum of sunflower lecithin had the maximum intensity of reflection, which is not observed in other spectra. This is explained by the presence of choline in lecithin in large quantities and practically absent in other studied raw materials.

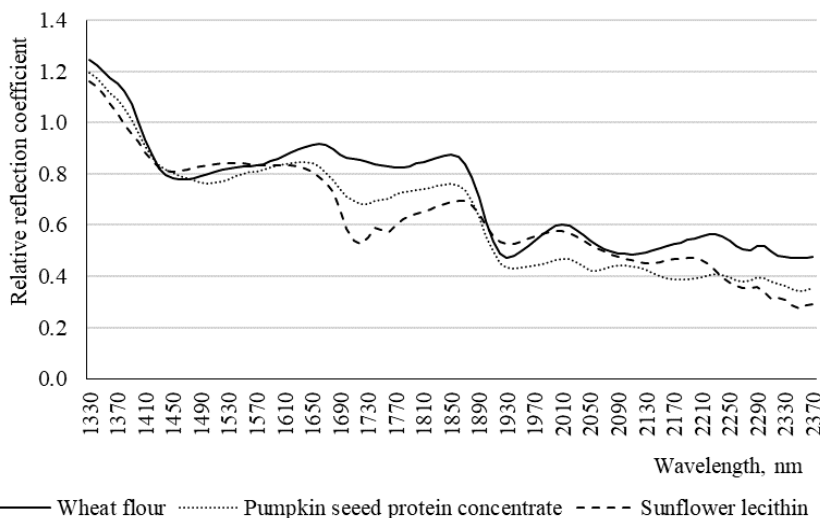


Fig. 1. Reflectance spectra of wheat flour, pumpkin seed protein concentrate and sunflower lecithin in the near infrared region

The minimum moisture reflection characteristic lies at a wavelength of 1930 nm, however, the relative reflection coefficient is practically the same for all samples.

At a wavelength of 2100 nm, the spectrum of wheat flour showed a minimum gentle extremum, the spectrum of sunflower lecithin continued to decrease slowly, indicating the absence of protein in it, and the spectrum of pumpkin seed protein concentrate had a maximum extremum, indicating the presence of a large amount of protein, but it didn't contain gluten proteins.

The wavelength of 2180 nm was the reflection minimum of the pumpkin seed protein concentrate, which was not characteristic of the other two spectra. At this wavelength, the protein content is characterized, avoiding the influence of starch. That is, due to the absence of protein in lecithin and the presence of starch in wheat flour, it is impossible to detect protein groups at this wavelength in this raw material.

The obtained results indicated a different chemical composition of wheat flour compared to other studied raw materials, so it is possible to predict its influence on the redistribution of the main structural units in the dough with these components. The resulting dough reflection spectra were compared immediately after kneading (Fig. 2).

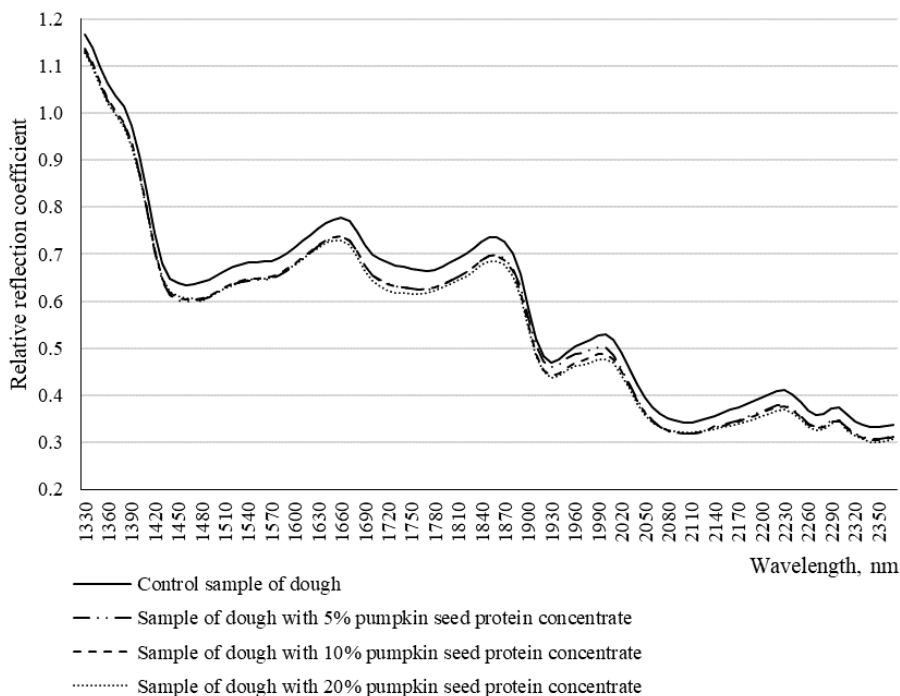


Fig. 2. Infrared spectra of dough samples with pumpkin seed protein concentrate (5, 10, 20% by weight of flour) after kneading

The dough was prepared from high-grade wheat flour, baker's yeast, salt, sunflower lecithin, and pumpkin seed protein concentrate in the amount of 5%, 10%, and 20% to the weight of flour, calculated to provide 20, 30, and 40% of the daily protein requirement. The control was a sample without pumpkin seed protein concentrate.

According to the location of the curves, the reflectance spectra of all dough samples had a clear location dependence: the highest spectrum of the control dough sample, below — spectra with 5%, 10%, 20% of additive. The slight difference in the values of the relative reflection coefficient can be explained by the absence of significant transformations in the dough system, since little time has passed since mixing. However, the inclusion of an additional source of protein still causes certain changes due to the wedging of protein substances of the additive into the gluten frame, which has already begun to form with flour proteins. The wavelengths of 1720, 1760 nm, 2310 nm and 2350 nm, which characterize the lipid groups and extrema of the lecithin sample, did not show extrema in the dough spectra. This is explained by the fact that the amount of lecithin in the dough is too small to reveal its effect on the conformations in the dough system.

Fermentation and proofing are important processes in the technology of bread production, because microbiological, biochemical and colloidal processes take place, a dough system with the necessary properties for obtaining high-quality bread is formed. Therefore, a study of changes in the main structural units of the dough was carried out during the period of its fermentation and proofing — 3.5 hours.

In the process of fermentation of the dough, the components of the recipe bind more tightly, providing its structure and stimulating physico-chemical and colloidal processes. They will be affected by added pumpkin seed protein concentrate and lecithin (Fig. 3).

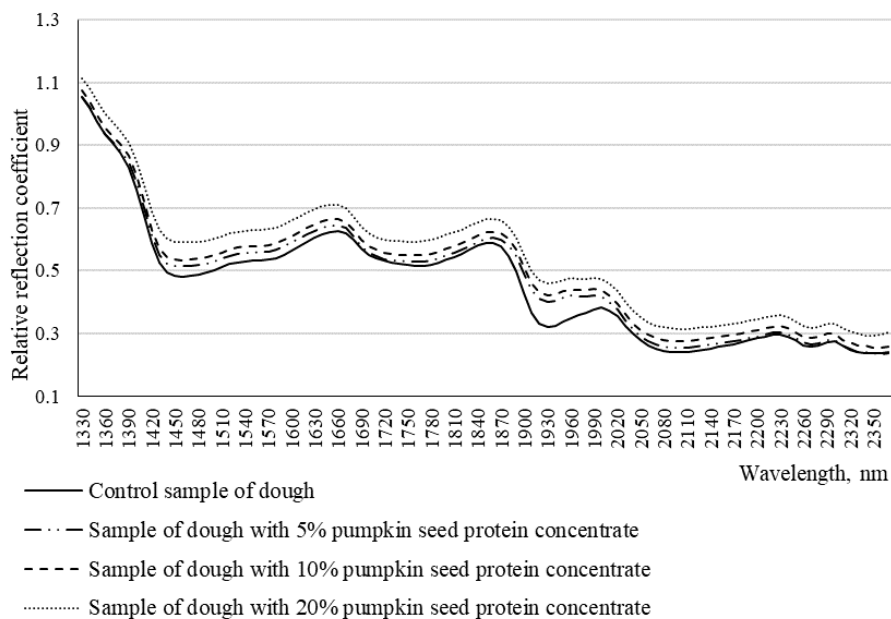


Fig. 3. Infrared spectra of dough samples with pumpkin seed protein concentrate (5, 10, 20% by weight of flour) after fermentation

In contrast to the reflection spectra of the dough immediately after kneading, after fermentation their location was reversed: the lowest values of the reflection coefficients were for the control sample, the spectra of the samples with 5%, 10% and 20% pumpkin seed protein concentrate were practically superimposed. This indicates that the higher

the percentage of addition, the higher the reflectance increased. The wavelength of 2100 nm characterizes the structural groups of proteins. The value of the relative reflection coefficient of the control sample was 0.24, samples with 5%, 10% and 20% of additive — 0.25, 0.27 and 0.31, respectively. Such values are explained by the fact that pumpkin seed protein concentrate does not contain gluten proteins and does not participate in the formation of gluten. Instead, its protein substances form complexes with flour proteins and delay its development.

Further research can be aimed at determining the conformational transformations in bread with pumpkin seed protein concentrate and the degree of assimilation of protein substances of bread with this raw material.

Conclusions

Adding pumpkin seed protein concentrate to the recipe of wheat bread is advisable from the point of view of the high content of complete protein. It was established that the fractional composition of the pumpkin seed protein concentrate contains 20.4% of the water fraction, 2.8% of the salt fraction, 5.1% of the alcohol fraction, and the most alkaline fraction — 71.7%. Unlike wheat flour, this raw material does not contain gluten proteins, which will affect the formation of the gluten frame of the dough and its properties.

Infrared spectra of raw materials indicated that the spectrum of wheat flour has a higher intensity of reflection than the spectrum of pumpkin seed protein concentrate. All three spectra have a unique character and mostly do not have coincident peaks in the entire range. This indicates a different composition and different nature of the studied raw materials. The available peaks on the spectra indicate the presence of a higher amount of lipids in the pumpkin protein concentrate than in wheat flour and non-gluten proteins, instead its protein substances form complexes with flour proteins and delay its development.

References

- Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В., Башта, А. О. (2020). *Основи валеології. Оздоровчі аспекти харчування*. Київ: «Сталь».
- Шевченко, А. О. (2023а). Вплив концентрату гарбузового протеїну на технологічний процес виготовлення пшеничного хліба. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(6), 92—99. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230206.11>.
- Шевченко, А. О. (2023б). Вплив концентрату гарбузового протеїну в поєднанні з фосфоліпідами на якість та харчову цінність пшеничного хліба, *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 29(5), 157—165. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-5-15>.
- Baslar, M., Ertugay, M. F. (2011). Determination of protein and gluten quality-related parameters of wheat flour using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(2), 139—144. <https://doi.org/10.3906/tar-0912-507>.
- Dewi Tuhumury, H. C., Mailoa, M., Matinahoruw, L. (2023). *Physicochemical and sensory properties of wheat flour-pumpkin bread*. The 7th international conference on basic sciences, 2588(1), 030012. <https://doi.org/10.1063/5.0111718>.
- Elechi, J., Adamu, C., Salihu, B. S. (2020). Quality evaluation of bread fortified with pumpkin (*Cucurbitapepo*) seed milk. *GSJ*, 8(2), 4778—4795. <https://doi.org/10.11216/gsj.2020.02.35429>.
- Gumenuk, O., Zamay, Z., Cibula, S., Hrebtan, O., Volkova, R. (2021). Study of the influence of native and germinated pumpkin and watermelon seeds on the quality of dough and bread. *Food science and technology*, 15(3), 108—119. <https://doi.org/10.15673/fst.v15i3.2122>.

Horax, H., Hettiarachchy, N., Over, K., Chen, P., Gbur, E. (2010). Extraction, fractionation and characterization of bitter melon seed proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 1892—1897. <https://doi.org/10.1021/jf902903s>.

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>.

Niewietzki, O., Tillmann, P., Becker, H. C., Mollers, C. (2010). A new near-infrared reflectance spectroscopy method for high-throughput analysis of oleic acid and linolenic acid content of single seeds in oilseed rape (*Brassica napus L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 94—100. <https://doi.org/10.1021/jf9028199>.

Rezig, L., Chibani, F., Chouaibi, M., Dalgalarondo, M., Hessini, K., Guéguen, J., Hamdi, S. (2013). Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed proteins: sequential extraction processing and fraction characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 7715—7721. <https://doi.org/10.1021/jf402323u>.

Rezig, L., Riaublanc, A., Chouaibi, M., Guéguen, J., Hamdi, S. (2015). Functional properties of protein fractions obtained from pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed. *International Journal of Food Properties*, 150414051930004. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1020433>.

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>.

Tomić, J. M., Torbica, A. M., Belović, M. M., Popović, L. M., Čakarević, J. C., Savanović, D. M., Novaković, A. R., Mocko Blažek, K. A. (2018). Potential of pumpkin oil cake protein isolate in production of millet bread, *Food and Feed Research*, 45 (2), 139—147. <https://doi.org/10.5937/FFR1802139T>.

Yip, W. L., Gausemel, I., Sande, S. A., Dyrstad, K. (2012). Strategies for multivariate modeling of moisture content in freeze-dried mannitol-containing products by near-infrared spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 70, 202—211. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.06.043>.

VITAMIN VALUE AND MICROBIOLOGICAL SAFETY OF FROZEN CHERRIES DURING STORAGE

G. Simakhina, N. Gregirchak, N. Naumenko, S. Kaminska

National University of Food Technologies

Key words:

Freezing
Cryoprotection
Cherries
Vitamin value
Microbiological indices

ABSTRACT

In the latest years, the range of frozen fruit and berry products on the domestic market is constantly expanding, alongside the demand on it increases annually by 15—20 percents, according to analysts' prognoses. This can be explained by growing nutritional culture in people and their aspiration to healthy lifestyle, including healthy nutrition with fruit, berries and vegetables for the basis.

The increase of the demand on frozen half products made from the aforementioned raw materials is also determined by the proliferating tendency to expand the networks of hotel, restaurant and catering enterprises. Within the periods of the lack of fresh raw materials (six months a year, actually), it is the fruit and berries that becomes the base for cold starters, hot dishes, desserts, salads, drinks (juices, morses etc.), decorations for confectionery items, fillings for dairy products and ice-creams. Along with that, using the frozen fruit and berry half products at the industrial enterprises and restaurants would be substantiated at the proper level and have many essential advantages over the half products preserved by other methods, providing that the producers would guarantee the maximal amount of valuable biocomponents, vitamins first of all, and retention of the high level of microbiological purity as the most valid factor of food safety during the long-term storage process (10—12 months).

That is why the authors of this article aimed their work at the possibility to reach the indices mentioned in case of using the novelty freezing methods, with cherries (SSO 8325:2015. Fresh Cherries) of Volodymyrska, Shubynka, Michurina plodyucha, Shpanka and Monomakh cultivars for the object of studies. They examined the dynamics of changes in the essential nutrients (vitamin C, bioflavonoids, carotenoids) during freezing itself, the storage period, and fruit defrosting before the usage.

Article history:

Received 04.03.2024
Received in revised form
21.03.2024
Accepted 05.04.2024

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npuht@ukr.net

Citation: Сімахіна Г. О., Грегірчак Н. М., Науменко Н. В., Камінська С. В. (2024). Вітамінна цінність і мікробіологічна безпека заморожених плодів вишні при зберіганні. *Наукові праці НУХТ*, 30(2), 154—168.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-14

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-14

ВІТАМІННА ЦІННІСТЬ І МІКРОБІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЗАМОРОЖЕНИХ ПЛОДІВ ВИШНІ ПРИ ЗБЕРІГАННІ

Г. О. Сімахіна, Н. М. Грегірчак, Н. В. Науменко, С. В. Камінська
Національний університет харчових технологій

Останні кілька років асортимент замороженої плодово-ягідної продукції на вітчизняному ринку постійно розширюється, а попит на неї за прогнозами аналітиків щороку збільшується на 15—20%. Це пояснюється зростанням культури харчування населення, прагненням до здорового способу життя, а відтак, до здорового харчування, основою якого є плоди, ягоди, овочі.

Збільшення попиту на заморожені напівфабрикати з цієї сировини визначається також постійно зростаючою тенденцією до розширення мережі готельно-ресторанного та громадського харчування. В період, коли немає свіжої сировини (а це понад 6 місяців щороку), саме заморожені плодово-ягідні напівфабрикати стають основою для виробництва холодних закусок, гарячих страв, десертів, салатів, оздоби для кондитерських виробів, наповнювачів для кисломолочних продуктів, морозива, сировиною для отримання соків, морсів, інших напоїв. Водночас використання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів на підприємствах, у закладах ресторанного господарства буде обґрунтованим і матиме багато істотних переваг перед напівфабрикатами, консервованими іншими способами, якщо в процесі тривалого зберігання (9—12 місяців) виробники гарантуватимуть максимальний вміст цінних біокомпонентів, передусім вітамінів, у замороженій і дефростованій продукції, а також високий рівень мікробіологічної чистоти як найбільш вагомий чинник безпеки харчових продуктів.

У статті визначено можливості досягнення таких показників при використанні сучасних методів заморожування. Предметом дослідження обрано плоди вишні (ДСТУ 8325:2015. Вишня свіжа) сортів Володимирська, Шубинка, Мічуріна плодюча, Шпанка, Мономах. Досліджено динаміку зміни основних вітамінів — вітаміну С, біофлавоноїдів, каротиноїдів при заморожуванні, в процесі зберігання та дефростації напівфабрикатів перед їх застосуванням.

Ключові слова: заморожування, кріопротекція, плоди вишні, вітамінна цінність, мікробіологічні показники.

Постановка проблеми. Штучний холод у харчовій промисловості надає можливість: отримувати стандартизовані продукти, стабільні за якісними та органолептичними показниками впродовж тривалого терміну зберігання; зменшувати втрати робочої сили, оскільки відпадає необхідність мити, перебирати, сортувати плоди та ягоди перед кулінарним обробленням і скоротити виробничі площі; зменшити тривалість кулінарного оброблення, тому що під впливом низьких температур при заморожуванні сировини відбувається розм'якшення структурних елементів рослинних клітин і деструкція високополімерів; тривалий час зберігати заморожені матеріали без використання штучних консервантів та антиокислювачів, шкідливих для здоров'я людини; істотно зменшити втрати вітаміну С та інших нутрієнтів при кулінарному обробленні дефростованих плодів та ягід, тому

що його тривалість зменшується в кілька разів. Зважаючи на це, попит на заморожені напівфабрикати у світі постійно зростає, їхній товарообіг щорічно збільшується на 4—6% (Frozen fruit, 2018; Світовий попит, 2019), приваблюючи споживачів високою біологічною цінністю, належними органолептичними показниками (Goyal, Verma, & Joshi, 2000) і практично не відрізняючись від свіжої сировини (Rickman, Barrett, & Bruhn, 2007), навіть при тривалому зберіганні (Poiana, Moigradean, Raba, Alda, & Pora, 2010). Лідерами у виробництві, споживанні та експорті замороженої плодово-ягідної продукції є Велика Британія, Німеччина, Франція, Польща (Звіт, 2019).

Незважаючи на такі очевидні переваги виробництва та реалізації заморожених плодів та ягід, їх ринок зростає значно повільніше, ніж овочів, оскільки отримана за традиційними технологіями плодово-ягідна продукція значно поступається свіжій сировині і за органолептичними показниками, і за якістю та безпекою.

Водночас технології заморожування потребують постійних інноваційних рішень, оскільки традиційні процеси неспроможні запобігти кріоушкодженню клітин і структур плодово-ягідної сировини утвореними кристалами льоду (Постоленко, 2021; Сімахіна, Кочубей-Литвиненко, Науменко, & Камінська, 2022). Це викликає істотні втрати клітинного соку, а разом з ним цінних біокомпонентів сировини при дефростації. Заморожені матеріали втрачають натуральний колір, аромат, смак, а саме таким характеристикам передусім надають перевагу споживачі.

Особливо яскраво недоліки традиційних технологій заморожування виявляються при отриманні напівфабрикатів з плодів і ягід, зважаючи на високий вміст у їхньому складі води — 85—90%, ніжну текстуру, яка легко піддається ушкодженням великими кристалами льоду. Тому заморожування саме таких видів сировини потребує першочергового пошуку і впровадження ефективних інновацій, адже плоди і ягоди мають антивірусну, антибактеріальну, антирадіаційну дію та є постачальниками речовин вторинного синтезу — поліфенолів, ароматичних сполук, летких кислот, які формують аромат, запах і смак свіжих ягід (Sandell, Laaksonen, & Lunden, 2012).

Водночас сьогодні ще надто мало праць вітчизняних науковців, у яких наведено результати досліджень з удосконалення існуючих технологій заморожування та розроблення нових. Недостатньо приділяється уваги зіставленню показників якості та безпеки отриманих заморожених напівфабрикатів зі свіжою сировиною, а це якраз є об'єктивним свідченням досконалості тієї чи тієї технології. Отже, визначений напрям — проблема надзвичайно актуальна і багатоаспектна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За сучасними уявленнями науки про здорове харчування рослинна сировина набуває все більшого значення у профілактиці та лікуванні ряду захворювань (Максютіна, & Пилипчук, 2006; Капсельянц, & Петросьянц, 2011). Значну харчову і дієтичну дію мають овочі, плоди та ягоди, виготовлені на їхній основі продукти, особливо з додаванням нетрадиційних джерел БАР — лікарських рослин (Формаюзюк, 2003). Останнім часом медики-дієтологи стали активно розглядати проблему профілактики ракових захворювань аліментарним шляхом, зв'язаним з рослинними інгредієнтами, особливо з високим вмістом вітамінів і мінеральних речовин (Корзун, & Парац, 2007),

сполук радіопротекторної дії (Сімахіна, Кочубей-Литвиненко, Науменко, & Побрусило, 2024), при складанні раціонів для різних груп населення (Козярін, 2009).

З метою зміцнення імунної системи організму й запобігання онкозахворюваням рекомендується також вводити до раціону впродовж року вітаміновмісні плоди та ягоди — чорну смородину, чорноплідну горобину, малину, чорницю, ожину, вишні тощо.

Відомо, що рослини чинять потужну антиоксидантну дію на організм людини (Simakhina, & Naumenko, 2021). Їхній вплив виявляється підвищенням його стійкості до різноманітних шкідливих чинників (фізичних, хімічних, психоемоційних тощо) (Левицький, 2004). Антиоксиданти забезпечують необхідну активність антиокислювальної системи як важливої складової універсальної регулюючої системи організму (Robbins et al., 2015). Вона контролює рівень вільнорадикальних реакцій окислення й перешкоджає накопиченню окисних токсичних продуктів.

Крім того, антиоксиданти впливають на синтез і перетворення багатьох БАР (амінів, вітамінів тощо) та беруть участь у формуванні ряду структурних елементів клітини. Найбільшу антиоксидантну активність мають такі БАР рослинної сировини, як токоферолі, β -каротин, аскорбінова кислота й фенольні сполуки з Р-вітамінною активністю. З цієї точки зору нагальною, наприклад, є проблема забезпечення раціональним харчуванням військовослужбовців Збройних Сил України, і плодово-ягідна складова є значною частиною такого раціону (Українець, Сімахіна, Науменко, & Кочубей-Литвиненко, 2017).

Отже, сукупність усіх зазначених властивостей рослинної сировини і продуктів на її основі визначається наявністю в них створених природою БАР, і саме завдяки їм забезпечуються харчові та біологічні потреби організму, захисні та реабілітаційні функції, нормальний перебіг усіх фізіологічних процесів.

Викладені відомості показують, наскільки важливо технологічний процес перероблення плодово-ягідної сировини вести таким чином, щоб отримані з неї напівфабрикати та готові продукти зберегли практично всі цінні речовини, закладені в ній природою (за винятком видаленої вологи); щоб продукти зберігалися протягом тривалого часу без погіршення якості, могли швидко відновлюватись, не поступаючись за показниками свіжим плодам та ягодам.

Наукові дослідження, спрямовані на вдосконалення існуючих технологій заморожування, у більшості випадків теоретично й експериментально обґрунтовують висновок, що однією з найбільш перспективних інновацій є поєднання штучного холоду з використанням сполук-кріопротекторів. Хоча фундаментальні і прикладні дослідження в цьому напрямі було виконано ще в 1970-ті роки у кріобіологічних центрах США, Англії, Франції, Японії, наприкінці 1990-х років узагальнені і розвинуті на новому рівні українськими ученими А. Білоусом, В. Грищенком, М. Пушкарем, С. Гордієнком (Белоус, & Грищенко, 1994), лише останнім часом цей напрям став предметом досліджень і в галузях харчових технологій. Результати показали (Simakhina, Naumenko, Bazhay-Zhezherun, & Kaminska, 2019), що теоретичні знання, які стали надбанням кріобіології, можна успішно адаптувати до процесів заморожування плодово-ягідної сировини і мінімізувати втрати їхнього вітамінного складника. Це відбувається за рахунок того, що в оброблених водними розчинами кріопротекторів ягодах істотно гальмується розвиток поза- та

внутрішньоклітинного кристалоутворення, яке є основним руйнівним чинником клітин і тканин заморожуваних об'єктів. Таких результатів щодо мінімізації втрат аскорбінової кислоти при заморожуванні ягід за традиційною технологією досягти не вдається (Noormets, Karp, Starast, Leis, & Muru, 2006).

Тому на основі результатів таких досліджень ґрунтується запропоноване дослідження, у якому предметом обрано кісточкові плоди вишні. Вони дуже швидко втрачають у свіжому вигляді свої якісні та кількісні показники. Разом з тим, за статистичними даними, саме на заморожену вишню зараз спостерігається великий попит, і більша частина її йде на експорт (Україна входить, 2023).

Україна входить у трійку світових лідерів з виробництва вишень. З 1994 р. по 2022 р. українські садівники щорічно в середньому збирали по більш як 156 тис. тонн плодів. Про це GrowHow стало відомо з оновлених статистичних даних від ФАО (FAOSTAT). За даними за 2022 рік, вирощування вишень в Україні зазнало певних змін. Наприклад, регіони Черкащини та Кіровоградщини показали вражаюче зростання виробництва вишень, збільшивши врожаї на 30% та 26% відповідно. Львівщина також приєдналася до цього тренду, збільшивши вирощування на 9%.

Не всі види і не всі помологічні сорти плодів і ягід придатні до заморожування і тривалого зберігання. Аналіз літературних даних, результати власних досліджень показали, що із сортів вишні придатні до заморожування плоди з достатньою кислотністю та цукристістю, красивим темним або рожевим забарвленням. Цим вимогам відповідають такі сорти вишні: Володимирська, Шубинка, Мічуріна плодюча, Шпанка, Мономах, тому вони й обрані як предмет дослідження.

Мета статті: оцінити вітамінний склад і мікробіологічну безпеку заморожених під прикриттям кріопротекторів сортів вишні у процесі тривалого зберігання та після дефростації у зіставленні зі свіжою сировиною.

Матеріали і методи. Дослідження проводили з вишнями сортів Володимирська (рис. 1), Шубинка, Мічуріна плодюча, Шпанка, Мономах.



Рис. 1. Вишні сорту Володимирська

Вибір матеріалів для дослідження ґрунтувався на відповідності їхніх показників попередньо встановленим критеріям оцінки плодів і ягід для отримання заморожених напівфабрикатів високої біологічної цінності, наведеними у табл. 1.

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таблиця 1. Основні критерії вибору плодово-ягідних культур, придатних для заморожування

Критерій	Характеристика критерію
Комплекс біологічно активних речовин плодів та ягід	Повнота харчової та біологічної цінності сировини і готової продукції для задоволення нутритивних потреб організму людини впродовж року
Глюкоацидометричний індекс	Співвідношення цукрів та органічних кислот при оптимальному його значенні 6...7 : 1
Кореляція між вмістом аскорбінової кислоти і біофлавоноїдів	Найбільший ефект аскорбінової кислоти виявляється при спільній дії з біофлавоноїдами при співвідношенні 1 : 1,5
Наявність каротиноїдів, не менш ніж 2 мг / 100 г	Свідчення антиоксидантних, онкопротекторних, загальнозміцнюючих властивостей
Вміст природних кріопротекторів, не менш ніж 5—8 мг/100 г	Високий вміст цукрів з переважаючою концентрацією глюкози та фруктози як стабілізаторів внутрішньоклітинних структур при заморожуванні
Здатність біокомпонентів до холодової адаптації	Протидія кріошкодженню, збереження якісних та органолептичних показників заморожених і дефростованих напівфабрикатів
Тип покривної тканини плодів та ягід	Збереження цілісності поверхні при заморожуванні, зберіганні та дефростації напівфабрикатів
Органолептичні показники — мінімальна розбіжність між свіжими, замороженими та дефростованими об'єктами	Зовнішній вигляд, колір, аромат, смак, консистенція плодів та ягід після дефростації як візуальна характеристика їхніх споживчих властивостей, перспектива реалізації на внутрішньому і зовнішньому ринках

Аналіз наведених критеріїв свідчить про гарантовану якість заморожених плодів вишні, їхні належні органолептичні показники та підвищену вітамінну цінність навіть при тривалому зберіганні.

Усі досліджені зразки обробляли розчинами кріопротекторів органічної та мінеральної природи, ефективність яких описано в працях з кріобіології (Белоус, & Грищенко, 1994; Wagner, Martowicz, Livesey, & Connor, 2012) і перевірено в наших дослідженнях. Для попереднього оброблення вишень застосували комбінований протектор — водний 10-відсотковий розчин сахарози спільно з одновідсотковим розчином лимонної кислоти, який, за даними (Simakhina, Naumenko, Bazhay-Zhezherun, & Kaminska, 2019), виявив найбільшу ефективність. Цим кріопротектором обробляли зразки вишень протягом 40—60 хв при температурі 20 °C після їх миття та очищення від сторонніх домішок.

Після оброблення кріопротекторами вишні осушували від зайвої вологи і заморожували у швидкоморозильній камері розсіпом при температурі $-35...-37$ °C, що відповідає параметрам швидкого заморожування (Individual, 2022). Процес триває до досягнення в центрі вишень температури -18 ± 1 °C.

Заморожені вишні пакували в пакети по 500 г, дотримуючись вимог цілісності і герметичності упаковки, зберігали протягом 12 місяців (максимальний термін) при температурі -18 °C і відносній вологості не більше ніж 95%. При підготовці

вишень до дослідження на вміст основних біохімічних компонентів, мікробіологічної безпеки проводили дефростацію при температурі 0 °С у холодильній камері.

Вміст аскорбінової кислоти як основного біокомпонента, що визначає харчову та біологічну цінність і ступінь збереження якого в процесі перероблення сировини є ймовірним індикатором досконалості технології заморожування, визначали у свіжих вишнях і заморожених під прикриттям кріопротекторів. Методика визначення аскорбінової кислоти — загальновідома і ґрунтується на використанні 2,6-дихлорфеноліндофеноляту натрію (Majidi, & Y-ALQubury, 2016).

Вміст біофлавоноїдів визначали за загальновідомою методикою з використанням реактиву Folin-Ciocalteu (Viña, & Chaves, 2006) спектрофотометричним методом. *Вміст каротиноїдів* визначали загальновідомим методом, який базується на екстрагуванні каротиноїдів за допомогою органічних розчинників (гексан), та вимірювали оптичну густину розчину на спектрофотометрі при довжині хвилі 450 нм (Juntachote, & Berghofer, 2005).

Мікробіологічний аналіз бактеріального забруднення заморожених плодів (зокрема наявність хвороботворних мікроорганізмів, бактерій, дріжджів, пліснявих грибів) визначали шляхом кількісного підрахунку контамінантів на твердому середовищі (Tarabees et al., 2015).

Втрати клітинного соку при дефростації заморожених вишень визначали за процентним співвідношенням різниці у масі заморожених вишень і дефростованих.

Статистичний аналіз було проведено шляхом послідовного регресивного аналізу із застосуванням програм Microsoft Excel XP і Origin Pro8 для обчислення кореляційних коефіцієнтів (Hinkle, Wiersma, & Jurs, 2003).

Викладення основних результатів дослідження. На першому етапі експериментально підтверджено об'єктивність вибору комбінації 10-відсоткового розчину сахарози спільно з одновідсотковим розчином лимонної кислоти як кріопротектора (на прикладі заморожування вишні сорту Володимирська). Критерієм ефективності кріопротекторів обрано показник утрат клітинного соку дефростованими плодами вишні. Результати наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Залежність втрат клітинного соку плодів вишні сорту Володимирська при заморожуванні і дефростації від виду використаного кріопротектора, % до вмісту у свіжих ягодах

Вид кріопротектора	Втрати клітинного соку у плодах, %			
	щойно заморожених	після зберігання, міс		
		1	3	9
Контроль	27,8	37,8	48,6	56,0
Гліцерин, 10%	4,7	7,9	9,4	12,2
Гліцерин, 10% + глюкоза, 10%	2,4	3,1	3,6	7,8
Глюкоза, 10%	0,8	1,2	1,2	2,3
Сахароза, 10%	2,6	2,6	3,4	3,5
Сахароза, 10% + CaCl ₂ , 2%	1,3	1,7	2,5	2,8
Сахароза, 10% + лимонна к-та, 1%	0	0	0	0

Аналіз даних табл. 2 дає змогу зробити ряд висновків:

- максимальна величина втрат клітинного соку спостерігається відразу після заморожування сировини і складає 27,8% (контроль) і від 0 до 4,7% при використанні кріопротекторів;

- комбінований кріопротектор (сахароза, 10% + лимона кислота, 1%) повністю захищає структурні елементи вишень від кріоушкоджень, і тому в процесі зберігання навіть протягом 9 місяців втрати клітинного соку після дефростації вишень відсутні для цього сорту, а в контрольному зразку зросли до 56,0%, що свідчить про перебіг ферментних реакцій через порушення структурної цілісності клітин і доступу ферментів до вітамінів, розчинених у клітинному соці;

- втрати клітинного соку при дефростації є результатом кріоушкоджуючих виявів у клітинах напівфабрикатів при заморожуванні та зберіганні, які визначаються фазовим переходом води в лід та наявністю або відсутністю захисного чинника — кріопротекторів. Біологічні системи піддаються найбільш сильному впливові комплексу ушкоджуючих чинників (внутрішньоклітинна кристалізація, рекристалізація, гіперконцентрація солей тощо), яким не вдається повністю запобігти навіть із використання композицій ефективних кріопротекторів, саме на етапі виморожування води. Тому щойно заморожені плоди вишні при дефростації втрачають найбільше клітинного соку, а подальше зберігання при низьких температурах майже не поглиблює цей процес, знову ж таки, за умови використання кріопротекторів;

- використання кріопротекторів надає можливість значно нівелювати структурно-фізичні зміни рослинних тканин при заморожуванні і в реально доступних межах зберігати структуру і функціональну цілісність більшості клітин у процесах заморожування-відігрівання, запобігаючи втратам клітинного соку;

- аналіз втрат клітинного соку при дефростації швидкозаморожених вишень через 9 місяців їх зберігання надає можливість припустити, що температура зберігання нижче нуля ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) також відіграє роль захисного чинника, який підтримує цілісність тих клітин, які залишились незруйнованими після заморожування.

Отже, комбінований кріопротектор (сахароза + лимона кислота) виявився найбільш ефективним. Вишні, заморожені з використанням кріопротекторів, протягом усіх 9 місяців зберігання мають приємний смак, аромат, природне забарвлення і свіжий вигляд; заморожені без кріопротекторів плоди менш стійкі; при тривалому зберіганні, а також при нерівномірній температурі повітря в камерах вони під впливом оксидазних ферментів і кисню повітря починають швидко змінювати забарвлення, набирають бурого кольору, втрачають смак і аромат. Про це свідчать результати оцінки плодів вишні, заморожених під захистом кріопротекторів, після 9 місяців зберігання (табл. 3).

За даними табл. 3, плоди вишні всіх досліджених сортів, оброблені перед заморожуванням кріопротекторами, оцінюються досить високо, причому зниження бальної оцінки плодів після заморожування й тривалого зберігання не перевищує 0,5 бала за зовнішнім виглядом; 0,3 бала — за станом поверхні; 0,4 бала — за ароматом; 0,1 бала — за смаком (за винятком вишні сорту Мономах). А показник кольору залишився майже на рівні вихідної сировини.

На відміну від цих результатів, оцінка плодів, заморожених без кріопротекто-

рів, різко знижується відразу після дії низьких температур, особливо після тривалого зберігання. Так, сорт вишні Володимирська, який відзначається чудовими вихідними даними, після дефростації оцінено за зовнішній вигляд всього в 3,6 бала, а за показником кольору — 2,6 бала.

Таблиця 3. Дегустаційна оцінка свіжих і заморожених плодів вишні

Сорт вишні	Вид продукції	Оцінка за 5-бальною шкалою					
		зовнішній вигляд	стан поверхні	аромат	колір	смак	загальна оцінка
Мономах	до заморожування	4,4	4,3	4,2	4,8	4,4	4,42
	після заморожування	4,5	4,4	4,5	4,8	4,4	4,52
	через 9 місяців	4,2	4,0	3,8	4,6	3,4	4,0
Шубинка	до заморожування	4,5	4,4	4,6	4,45	4,4	4,47
	після заморожування	4,5	4,2	4,7	4,3	4,3	4,4
	через 9 місяців	4,0	4,2	4,2	4,2	4,3	4,18
Шпанка	до заморожування	4,6	4,7	4,7	4,7	4,5	4,64
	після заморожування	4,4	4,3	4,5	4,7	4,4	4,46
	через 9 місяців	4,5	4,6	4,5	4,4	4,4	4,48
Мічуріна плодюча	до заморожування	5,0	4,7	4,8	5,0	4,6	4,82
	після заморожування	5,0	4,8	4,8	5,0	4,5	4,82
	через 9 місяців	5,0	4,6	4,7	4,9	4,6	4,76
Володимирська	до заморожування	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	після заморожування	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	через 9 місяців	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Володимирська (без кріопротектора)	до заморожування	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	після заморожування	4,2	4,0	4,6	4,1	4,6	4,3
	через 9 місяців	3,6	3,3	3,0	2,6	4,0	3,06

Оскільки обрані сорти вишень розглядаються передусім як концентратори найцінніших вітамінних сполук, на подальшому етапі дослідження визначали кількісний вміст аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів, каротиноїдів у свіжій сировині для наукового обґрунтування її вибору при отриманні заморожених напівфабрикатів. Результати наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Вітамінний склад свіжих плодів вишні, мг/100 г

Сорт вишні	Каротиноїди	Аскорбінова кислота	Біофлавоноїди
Мономах	3,25	59,6	920,0
Шубинка	2,4	55,8	825,0
Шпанка	2,9	60,5	890,4
Мічуріна плодюча	2,38	54,6	976,0
Володимирська	3,4	62,2	1340,0

Отже, досліджені вишні є природними багатими джерелами аскорбінової кислоти та біофлавоноїдів. Ці показники відповідають визначеним критеріям вибору плодово-ягідних культур, придатних для заморожування й отримання продукції

високої вітамінної цінності (табл. 1). Це свідчить про необхідність їх широкого використання у виробництві оздоровчих продуктів і напівфабрикатів. Відомо, що біофлавоноїди накопичуються у вигляді глікозидів у тих частинах рослин, у яких процеси метаболізму перебігають найбільш ефективно (Yang, Halttunen, Raimo, Price, & Kallio, 2009). Плоди і ягоди не можна віднести до багатих на каротиноїди джерел, разом з тим вони доповнюють вітамінну цінність плодово-ягідної сировини, особливо зважаючи на їхні характеристики (антиоксидантні, онкопротекторні, загальнозміцнюючі).

На наступному етапі досліджень з'ясували зміни основних біокомпонентів заморожених вишень у процесі холодильного зберігання (–18 °С) протягом 3 і 9 місяців. Результати представлено в табл. 5.

Таблиця 5. Вміст основних біокомпонентів у заморожених вишнях після тривалого зберігання, мг/100г продукту

Сорт вишень	Аскорбінова кислота			Біофлавоноїди		
	після заморожування	після зберігання, міс		після заморожування	після зберігання, міс	
		3	9		3	9
Мономах	54,8	53,2	51,25	837,2	814,0	798,0
Шубинка	50,2	47,4	44,8	767,3	745,2	726,0
Шпанка	52,6	50,5	49,6	801,0	788,0	747,6
Мічуріна плодюча	49,1	45,8	42,6	917,4	904,4	888,2
Володимирська	57,9	53,6	49,2	1233,0	1212,0	1186,0

Отже, після заморожування всі сорти вишень містили аскорбінової кислоти в межах від 49,1 мг/100 г до 57,9 мг/100 г залежно від культури, і ця частка складала від 92% до 97% від вмісту аскорбінової кислоти у свіжих вишнях. Втрати її протягом трьох місяців зберігання склали від 7,7% до 9,4%. Через 9 місяців зберігання ці цифри зросли до 21,6 та 18,6%. Для порівняння: при традиційних технологіях заморожування (без криопротекторів) через три місяці зберігання вишні втрачають від 58% до 71% аскорбінової кислоти, залежно від сорту.

Зважаючи на те, що аскорбінова кислота як активний антиоксидант, що бере участь у багатьох фізіологічних функціях, зокрема в синтезі колагену й транспортної форми вітаміну D (Vernett, Gough, Baetz et al., 2017), належить до найбільш лабільних представників компонентного складу вишень, такий високий ступінь її збереженості і після заморожування, і після тривалого зберігання є надійним свідченням того, що науково обґрунтований вибір сировини, відповідно до встановлених критеріїв, та заморожування плодів під прикриттям криопротекторів максимально наближає якісні показники отриманих напівфабрикатів до свіжих матеріалів.

Відповідно до міжнародної практики безпека харчових продуктів досягається шляхом аналізу та контролю небезпечних чинників на етапах усього технологічного ланцюга виробництва продукції (Грищенко, 2013). Продукти мають задовольняти всі мікробіологічні вимоги, наведені у «Принципах встановлення та застосування мікробіологічних критеріїв для продуктів харчування (CAC/GL 21-1997)» (Principles, 2018).

Мікробіологічні дослідження зразків ягід проводили відразу після заморожування, після дефростації і зберігання в дефростованому вигляді. У табл. 6 наведено результати оцінки мікробіологічної чистоти вишень сорту Володимирська і Шпанка (свіжих і безпосередньо після заморожування).

Таблиця 6. Рівень мікробіологічної чистоти свіжих ягід і після заморожування

Показник	Гігієнічний норматив	Вишні сорту Володимирська		Вишні сорту Шпанка	
		свіжі	заморожені	свіжі	заморожені
МАФАНМ, КУО/г	$5,0 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$
БГКП (коліформи) в 0,1 г	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Плісені, КУО/г	$5,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено
Дріжджі, КУО/г	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено

Передусім слід зазначити, що патогенних мікроорганізмів ні у свіжих плодах, ні в заморожених напівфабрикатах не виявлено.

Відповідно до наведених результатів, у досліджуваних об'єктах відсутні також бактерії групи кишкових паличок (коліформи). Дріжджі виявлено лише в зразку свіжих вишень сорту Шпанка, однак їхня кількість у 20 разів менша від гігієнічного нормативу. Кількість МАФАНМ у вишнях «Шпанках» ($4,1 \cdot 10^2$) вища, ніж у «Володимирських» ($2,8 \cdot 10^2$). Завдяки заморожуванню кількість МАФАНМ для «Володимирських» зменшується на 27,6%, а для «Шпанок» — на 34,9%. Плісняві гриби у невеликих кількостях виявлено лише у свіжих плодах.

Загалом, унаслідок заморожування вишень кількість мікроорганізмів зменшується на 28...56%, що узгоджується з результатами досліджень інших авторів (Pavliuk, & Poharska, 2013).

Щоб пояснити позитивний вплив заморожування на підвищення мікробіологічної чистоти плодово-ягідної сировини, необхідно звернутись до поняття «температурний шок клітини». Під цим поняттям автори (Белоус, & Грищенко, 1994) розуміють стан структурного руйнування плазматичної мембрани або клітини в цілому, яке відбувається після швидкого зниження температури до 0 °C і нижче. Очевидно, більшість мікроорганізмів руйнуються уже після швидкого охолодження, тому вплив заморожування біоматеріалів на руйнування мікроорганізмів варто розглядати з двох позицій: ушкодження їхніх клітинних структур, пов'язані з деструктивною дією утворених позаклітинних або внутрішньоклітинних кристалів льоду, та ушкодження, спричинені розвитком температурного шоку.

Одним із чинників ризику підвищення рівня шкідливих мікроорганізмів є недотримання технологічних і санітарно-гігієнічних умов при дефростації заморожених вишень, тому в подальших дослідженнях вивчили вплив способів дефростації на показники мікробіологічної безпеки. Досліджували вишні сорту Шпанка відразу після заморожування і дефростовані через 12 місяців зберігання при температурі -18 °C.

Дефростацію проводили чотирма способами: 1 спосіб — на повітрі при температурі 18...22 °С; 2 спосіб — у мікрохвильовій печі; 3 спосіб — у холодильній камері при 0 °С; 4 спосіб — на водяній бані при 37...42 °С.

Згідно з даними, у заморожених напівфабрикатах через 12 місяців зберігання не виявлено ні БГКП, ні пліснявих грибів, ні дріжджів. Навпаки, при зберіганні заморожених вишень при температурі –18 °С кількість МАФАНМ зменшилась на 19,6%. Тобто руйнівний вплив заморожування на мікроорганізми продовжується і в процесі низькотемпературного зберігання. Це апріорі свідчить про те, що мікрофлора плодів та ягід представлена організмами з низьким вмістом холестерину, і холодний шок виявляє свою дію тривалий час, через що все більше клітин мікроорганізмів втрачають життєздатність.

Таблиця 7. Рівень мікробіологічної чистоти вишень сорту Шпанка, дефростованих різними способами

Досліджувані зразки	МАФАНМ, КУО / г	БГКП (коліформи), в 1 г	Плісняві гриби, КУО / г	Дріжджі, КУО / г
Заморожені вишні (контроль)	$2,6 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Заморожені вишні через 12 місяців зберігання	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Дефростовані вишні				
За способом 1	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
За способом 2	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
За способом 3	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
За способом 4	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

Отримані результати також підтвердили, що спосіб дефростації майже не впливає на рівень мікробіологічної чистоти напівфабрикатів, за винятком способу 3 — відігріву в холодильній камері. Очевидно, тут знову спрацьовує ефект температурного шоку, і кількість мікроорганізмів зменшується ще на 13%. Цей варіант дефростації виявився найкращим.

Висновки

Культивовані сорти вишень, широко розповсюджені на території України, є перспективною сировиною для перероблення на високовітамінну продукцію, здатну забезпечити потреби організму людини впродовж року в есенціальних інгредієнтах харчового раціону. Вишні вирізняються серед інших рослин потужною антиоксидантною здатністю, зумовленою наявністю в них значних концентрацій аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів і певної кількості каротиноїдів, інших вітамінів. Щоб зберегти всі ці цінні якості у продукції перероблення вишень, доцільно керуватись двома засадничими вимогами: по-перше, здійснювати науково обгрунтований вибір сировини серед сортів, найбагатших на основні вітамінівні сполуки; по-друге, використовувати для перероблення плодів сучасні, найбільш перспективні технології.

Для реалізації цих вимог у практичних умовах рекомендовано скористатись запропонованими критеріями вибору плодів і ягід, дотримання яких гарантує високу якість готової продукції, а для перероблення сировини застосовувати процеси заморожування у поєднанні з використанням сполук-кріопротекторів. Саме завдяки таким підходам із п'яти сортів вишень отримано заморожену продукцію, яка за компонентним вмістом майже не поступається свіжій сировині навіть після 9—12 місяців зберігання в оптимальних умовах.

Заморожування вишень викликає ще один ефект — зменшення кількості шкідливих мікроорганізмів майже на 30% за рахунок температурного шоку, якого зазнають клітини мікроорганізмів у процесі швидкого охолодження і який призводить до їх руйнування. Позитивний вплив заморожування на підвищення рівня мікробіологічної безпеки напівфабрикатів можна розглядати з двох позицій: ушкодження клітинних структур мікроорганізмів, пов'язані з деструктивною дією утворених кристалів льоду, і ушкодження, спричинені розвитком температурного шоку в зоні помірно низьких температур.

Пошук нових сировинних матеріалів як концентраторів есенціальних вітамінів, удосконалення способів їх низькотемпературного перероблення на готову продукцію і напівфабрикати високої біологічної цінності та належних органолептичних характеристик є перспективним інноваційним напрямом розвитку індустрії здорового харчування і, як результат, поліпшення стану здоров'я людей.

Література

- Белоус, А. М., & Грищенко, В. И. (1994). *Криобиология*: монографія. Киев: Наукова думка.
- Грищенко, Ф. О. (2013). Європейська система безпечності харчових продуктів. Історія створення. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*, 1, 40—43.
- Звіт (2019). Звіт «Аналіз світового ринку заморожених продуктів харчування за видом продукції та географічним розташуванням: тенденції та прогнози (2010-2018)». URL: <http://www.ucca.org.ua/ua/information/news/21#> (дата звернення 15.01.2024).
- Капрельянци, Л. В., Петросьянци, А. П. (2011). *Лікувально-профілактичні властивості харчових продуктів та основи дієтології*: монографія. Одеса: Друк.
- Козярін, І. П. (2009). Дієтопрофілактика в умовах радіоактивного забруднення довкілля. *Фітотерапія в Україні*, 3—4, 49—52.
- Корзун, В. Н. & Парац, А. М. (2007). Проблема мікроелементів у харчуванні населення України та шляхи її вирішення. *Проблеми харчування*, 1(14), 5—11.
- Левицький, А. П. (2004). Биофлавоноиды как модуляторы эстрогенной и остеогенной активности. *Вісник фармакології та фармації*, 2, 13—18.
- Максютіна, Н. Н., & Пилипчук Л. Б. (2006). Рослинні антиоксиданти і пектини в лікуванні і профілактиці проленевих уражень і детоксикації організму. *Фармацевтичний журнал*, 4, 35—41.
- Павлюк, Р. Ю., & Погарська, В. В. (2013). Нове в технології отримання заморожених ягід та пюре з рекордними характеристиками. *Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства*, 1(1), 3—9.
- Постоленко, Є. П. (2021). Заморожування плодів вишні у цукровому сиропі. URL: <https://www.pro-of.com.ua/zamorozhuvannya-plodiv-vishni-u-cukrovomu-siropi/> (дата звернення 05.03.2024).
- Світовий попит на заморожені продукти продовжує зростати. URL: <http://www.lol.org.ua/rus/showart.php?id=114914> (дата звернення 12.01.2024).

Сімахіна Г. О., Кочубей-Литвиненко О. В., Науменко Н. В., Камінська (2022). *Кріоупродження та кріозахист у холодильних технологіях*: монографія. Київ: Сталь.

Сімахіна, Г. О., Кочубей-Литвиненко, О. В., Науменко, Н. В., Побрусило, М. В. (2024). Дієтична добавка адаптогенної дії для екстремальних умов довкілля. *Proceedings of the 7th International Scientific Conference «Global science: prospects and innovations»* (March 1—3, 2024). Liverpool, 247—255.

Україна входить у трійку світових лідерів з виробництва вишень [Електронний ресурс]. URL: <https://www.growhow.in.ua/ukraine-vkhodyt-u-triyku-svitovyykh-lideriv-z-vyrobnytstva-vyshen/> (дата звернення 02.03.2024).

Українець, А. І., Сімахіна, Г. О., Стеценко, Н. О., Науменко, Н. В., Кочубей-Литвиненко, О. В. (2017). *Нові продукти для раціонів військовослужбовців*. Київ: Сталь.

Формазюк, В. І. (2003). Енциклопедія пищевых лекарственных растений. Киев: А.С.К.

Frozen fruit (2018). Frozen fruit market in the EU: Germany remains the largest importer. URL: <https://www.freshplaza.com/article/9020192/frozen-fruit-market-in-the-eu-germany-remains-the-largest-importer> (access date 05.01.2024).

Goyal, R. K., Verma, L. R., & Joshi, V. K. (2000). Nutritive value of fruits, vegetables, and their products in postharvest technology of fruits and vegetables. Indus Publishing, New Delhi, 337—389.

Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences*. Boston, Mass: Houghton Mifflin. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824135-6.00030-1>.

Individual (2022). Individual Quick Freezing (IQF). URL: <https://www.paradise-fruits.de/en/individual-quick-freezing-iqf/> (access date 03.03.2024).

Juntachote, T., & Berghofer, E. (2005). Antioxidative properties and stability of ethanolic extracts of Holy basil and Galangal. *Food Chem.*, 92(2), 193—202. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.04.044.

Majidi, M., Y-ALQubury, H. (2016). Determination of Vitamin C (ascorbic acid) Contents in various fruit and vegetable by UV-spectrophotometry and titration methods, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9(4), 2972—2974. <http://dx.doi.org/10.52155/ijpsat.v15.2.1144>.

Noormets, M., Karp, K., Starast, M., Leis, L., & Muru, K. (2006). The influence of freezing on the content of ascorbic acid in Vaccinium species berries. *Acta Hort.*, 715, 539—544. DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.715.83.

Poiana, M., Moigradean, D., Raba, D., Alda, L.-M., & Popa, M. (2010). The effect of long-term frozen storage on the nutraceutical compounds, antioxidant properties and color indices of different kinds of berries. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(1), 54—58.

Principles (2018). Principles and guidelines for the establishment and application of microbiological criteria related to food. CAC/GL 21 — 1997 Codex Alimentarius. URL: www.fao.org/input/download/standards/394/CXG_021e.pdf (access date 18.01.2024).

Rickman, J. C., Barrett, D. M., & Bruhn, C. M. (2007). Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part I. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of Sci Food Agric.*, 87, 930—944.

Robbins, K., Yi, G., Lenny Wells, M., Greenspan, P., & Pegg, R. B. (2015). Investigation of antioxidant capacity and phenolic constituents of U.S. pecans. *Journal of Functional Foods*, 15, 11—22. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.006>.

Sandell, M., Laaksonen, O., & Lunden, S. (2012) Flavour properties and chemistry of berries. URL: https://www.researchgate.net/publication/286026759_Flavour_properties_and_chemistry_of_berries (access date 15.01.2024).

Simakhina, G., & Naumenko, N. Antioxidant effectiveness of plant cultures. *Ukrainian Food Journal*. 2021. Volume 10. Issue 1. P. 37—54.

Simakhina, G., Naumenko, N., Bazhay-Zhezherun, S., & Kaminska, S. (2019). Impact of Cryo-protection on Minimization of Ascorbic Acid Losses in Freezing of Berries. *Ukrainian Food Journal*, 8(2), 271—283. DOI: 10.24263/2304-974X-2019-8-2-7.

Tarabees, R. Z., Hassanin, Z. H., & El Bagoury, A. M. (2015). Polymerase chain reaction (PCR): an alternative rapid method for detection of some microbial contamination of meat products. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 45, 91—98. DOI: 10.5455/ajvs.177446.

Vernett, L., Gough, A., Baetz, N. et al. (2017). Functional Coupling of Human Microphysiology Systems. *Scientific Reports*, 1—14. DOI: 10.1038/srep42296.

Viña, S. Z., & Chaves, A. R. (2006). Antioxidant response in minimally processed celery during refrigerated storage. *Food Chem.*, 94(1), 68—74. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.10.051.

Wagner, C. T., Martowicz, M. L., Livesey, S. A., & Connor, J. (2012). Biochemical stabilization enhances red blood cell recovery and stability following cryopreservation. *Cryobiology*, 45(2), 153—166. DOI: 10.1006/cryo.2000.2279.

Yang, B., Halttunen, T., Raimo, O., Price, K., & Kallio, H. (2009). Flavonol glycosides in wild and cultivated berries of three major subspecies of *Hippophae rhamnoides* and changes during harvesting period. *Food Chemistry*, 115(2), 657—664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.073>.

USE OF SUNFLOWER SEEDS IN YOGURT TECHNOLOGY

L. Musii, O. Tsisaryk, I. Slyvka

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies
Lviv

Key words:

Yogurt
Sunflower seed
Technology
Sensory properties
Caloric content

Article history:

Received 01.03.2024
Received in revised form
15.03.2024
Accepted 29.03.2024

Corresponding author:

L. Musii
E-mail:
musiyluba@ukr.net

Citation: Мусій Л. Я., Цісарик О. Й., Сливка І. М. (2024). Використання насіння соняшника в технології йогурту. *Наукові праці НУХТ*, 30(2), 169—179
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-15

ABSTRACT

Today the search for new natural fillers with a high content of biologically active substances is an urgent issue. Therefore, the scientific justification of the use of sunflower seeds in the technology of yogurt with increased quality and nutritional value has great practical prospects in the food industry.

Yogurt with a mass fraction of fat of 2.5% was produced by the tank method. For the fermentation of the mixture, a bacterial preparation of direct application FD DVS ABY-3 was used, which includes *Lactobacillus acidophilus* La-5, BB-12, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* (Chr. Hansen, Ukraine).

For conducting experimental studies, 4 samples of yogurt were formed: control sample — without sunflower seeds; experimental sample 1 — introduction of sunflower seeds in the amount of 1%; experimental sample 2 — with 1.5% sunflower seeds; experimental sample 3 — with 2.5% sunflower seeds.

The use of a larger amount of sunflower seeds in the production of yogurt negatively affected its sensory indicators. Among the experimental samples, the sample with the addition of 1% seeds was characterized by the best sensory indicators; appearance and consistency — liquid, with minor inclusions of crushed seeds; by smell and taste with a pleasant, weak aftertaste of the seeds and a weak smell of the introduced filler; in color — milky, uniform throughout the mass.

According to physico-chemical parameters, it was established that sample 1 had the highest acidity in the test samples of yogurt — 78.0°T, the lowest indicator of titrated acidity was registered in sample 3 — 76.3°T, while the degree of syneresis increased by 4.3—19.6% ($P < 0.05$ —0.01).

With an increase in the concentration of seeds in experimental samples of yogurt, the content of fats, proteins and calories in the product increased. Thus, the control sample had a lower fat and protein content compared to experimental sample 1 by 0.50 g and 0.17 g, sample 2 by 0.88 and 0.30 g, sample 3 by 1.25 and 0, 44 g, calorie content of 5.0, 9.0 and 12.8 kcal, respectively.

In order to enrich yogurt with proteins and fats, it is recommended using crushed sunflower seeds in a concentration of no more than 1%.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-15

ВИКОРИСТАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА В ТЕХНОЛОГІЇ ЙОГУРТУ

Л. Я. Мусій, О. Й. Цісарик, І. М. Сливка

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

Сьогодні актуальним питанням є пошук нових натуральних наповнювачів із високим вмістом біологічно-активних речовин, тому наукове обґрунтування використання насіння соняшника в технології йогурту підвищеної якості та харчової цінності має великі практичні перспективи в харчовій промисловості.

Йогурт виготовляли з масовою часткою жиру 2,5% резервуарним способом. Для ферментації суміші було використано бактеріальний препарат прямого внесення FD DVS АВУ-3, до складу якого входить *Lactobacillus acidophilus* La-5, BB-12, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* («Хр. Хансен, Україна»).

Для проведення експериментальних досліджень було сформовано чотири зразки йогурту: контрольний зразок — без насіння соняшника; дослідний зразок № 1 — внесення насіння соняшника у кількості 1%; дослідний зразок № 2 — 1,5%; дослідний зразок № 3 — 2,5%.

Використання більшої кількості соняшникового насіння у виробництві йогурту негативно вплинуло на його органолептичні показники. Серед дослідних зразків найкращими органолептичними показниками характеризувався зразок при додаванні 1% насіння; зовнішній вигляд і консистенція — рідка, з незначними включеннями подрібненого насіння; з приємним запахом і смаком, слабким присмаком насіння та слабким запахом внесеного наповнювача; за кольором — молочний, рівномірний за всією масою.

За фізико-хімічними показниками встановлено, що найбільшу кислотність у дослідних зразках йогурту мав зразок № 1 — 78,0°Т, найменший показник титрованої кислотності зареєстровано у зразку № 3 — 76,3°Т, при цьому підвищується ступінь синерезису на 4,3—19,6% ($P < 0,05$ — $0,01$).

Зі збільшенням концентрації насіння в дослідних зразках йогурту підвищується вміст жирів, білків і калорійність продукту. Так, контрольний зразок мав менший вміст жирів і білків порівняно з дослідним зразком № 1 на 0,50 г та 0,17 г, зразком № 2 — на 0,88 та 0,30 г, зразком № 3 — на 1,25 та 0,44 г, калорійності, відповідно, на 5,0, 9,0 та 12,8 ккал.

З метою збагачення йогурту білками та жирами рекомендуємо використовувати при його виробництві подрібнене насіння соняшника в концентрації не більше 1%.

Ключові слова: йогурт, насіння соняшника, технологія, органолептичні властивості, калорійність.

Постановка проблеми. Сьогодні спостерігається стрімкий розвиток нових, так званих функціональних продуктів, які сприятливо впливають на здоров'я людини (Kaprelyants, Yegorova, Trufkati, & Pozhitkova, 2019). Основою технології

функціональних харчових продуктів є модифікація традиційних продуктів, що забезпечують підвищений вміст у них корисних інгредієнтів згідно з фізіологічними нормами споживання. Впровадження у виробництво широкого спектра функціональних продуктів харчування з лікувальними та профілактичними властивостями, які запобігали б виникненню та прогресуванню цукрового діабету й хвороб серця, сприяли покращенню травлення й підвищенню рівня абсорбції вітамінів і мінералів, зниженню високого рівня холестеролу, підсиленню імунної системи, гальмуванню процесів старіння могло б суттєво покращити стан здоров'я українців (Берник, Новгородська, Соломон, Овсієнко, & Бондар, 2022).

У всьому світі спостерігається стійка тенденція збільшення обсягів виробництва і споживання продуктів функціонального харчування. Бажання виробників поліпшити органолептичні властивості, забезпечити безпеку і рентабельність продуктів призводить до зміни традиційних способів виробництва, раціоналізації складу, вироблення комбінованих молочних продуктів з додаванням немолочних компонентів і застосуванням різних харчових добавок. У зв'язку з цим актуальним завданням у молочній галузі є вдосконалення технологій виробництва та рецептури високоякісних молочних та, зокрема, кисломолочних продуктів (Pavlyuk, Pogarskaya, Balabai, Kravchuk, & Pogarskiy, 2019; Рацук, & Сарібекова, 2021; Okoniewski, Dobrzyńska, Kusyk, Dziedzic, Przysławski, & Drzymała-Czyż, 2023).

Широким попитом серед споживачів користуються кисломолочні напої, збагачені сировиною, яка містить антиоксиданти, вітаміни, мінеральні комплекси та харчові волокна. У загальній структурі виробництва молочної продукції в Україні кисломолочні продукти становлять 15% (Самілик, & Демидова, 2022).

Одним із популярних кисломолочних продуктів, що широко використовується в раціоні харчування людей у багатьох країнах світу, є йогурт. Йогурти мають високі лікувальні, харчові та дієтичні властивості (Rozenberg, 2015). Їх використовують для лікування та профілактики запальних процесів, хвороб легенів і шлунково-кишкового тракту. Регулярне вживання йогуртів підвищує стійкість організму до розвитку хвороботворних бактерій, інфекцій, онкологічних захворювань, а також сприяє підвищенню імунітету, зниженню інтоксикації організму (Odarchenko, Spodar, Karbivnycha, & Sokolova, 2020).

Актуальним питанням є пошук нових натуральних наповнювачів із високим вмістом біологічно-активних речовин (Nabavi, & Silva, 2018), тому наукове обґрунтування використання насіння соняшника в технології йогурту підвищеної якості та харчової цінності має великі практичні перспективи в харчовій промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Харчова промисловість, реагуючи на поточний попит споживачів на натуральні та функціональні харчові продукти, постійно розвивається та змінює рецептури традиційних продуктів. Встановлено, що надходження біологічно активних речовин із їжею у переважній більшості населення є недостатнім. Доцільним є розширення асортименту й обсягів харчових продуктів із підвищеною біологічною цінністю (Бондарчук, Маландій, & Мельник, 2013).

У (Shivasamy, Bharathi, Pradusha, & Kishore, 2021) встановлено можливість використання насіння соняшника та кунжуту в технології йогурту. Авторами було використано 1, 1,5 та 2% насіння соняшника. Встановлено, що насіння є хорошим

джерелом білка, амінокислот, поліфенолів та флавоноїдів. За результатами дослідження встановлено оптимальну кількість насіння — 1 г.

При аналізі українських літературних джерел згадки про технологію йогурту з насінням соняшника не виявлено, тому доцільним є встановлення можливості використання українського насіння соняшника в технології йогурту з метою збільшення харчової цінності.

Рослинна сировина в поєднанні з продуктами тваринництва створює біоактивні білкові комплекси, які забезпечують повноцінність і високу засвоюваність амінокислот. Комбінування кисломолочних продуктів із рослинною сировиною сприяє утворенню позитивного біологічного ефекту харчування (Соломон, Новгородська, & Бондар, 2019).

Серед нутрієнтів, що мають особливе значення для здоров'я людини, найважливіша роль належить білкам рослинного походження. Завдання забезпечення населення високоякісними білками є найактуальнішим у нинішньому тисячолітті. Дефіцит білка в Україні становить приблизно 30—40% (Камсуліна, Скуріхіна, & Губаль, 2015). Ліквідувати його можна за рахунок збільшення споживання як тваринного, так і рослинного білка. Соевий білок традиційно займає перше місце серед білків рослинного походження (Бабич, 2008). Як альтернатива соєвому білку в Україні можна використовувати білок соняшника, оскільки ця культура займає особливе місце в українському агропромисловому комплексі. Білки насіння соняшника мають високу харчову цінність (Shivasamy, Bharathi, Pradusha, & Kishore, 2021).

Серед світових виробників Україна посідає третє місце за валовим збором насіння соняшника, який є традиційною олійною культурою та стратегічною сировиною України. Останнім часом спостерігається збільшення валового збору соняшника майже на 30%, що відбулося за рахунок розширення посівних площ (Кудріна, 2021).

Ядро соняшника — це створений природою осередок для зберігання рослинної олії та легкозасвоюваного білка, тому безпосереднє використання в харчуванні натурального ядра дає змогу, поряд із жиром, і білком споживати біологічно активні сполуки. Навіть порівняно з іншими цінними продуктами, такими як різні види горіхів і насіння, ядро соняшника відрізняється підвищеним вмістом деяких ключових нутрієнтів: фолієвої кислоти, вітаміну Е, селену. Поживність 100 г ядра складає приблизно 570 ккал; знежиреного ядра — 450 ккал. За цим показником соняшник близький до шоколаду, але містить менше насичених жирів і більше клітковини, заліза, цинку та білка (Камсуліна, Скуріхіна, & Губаль, 2015).

Аналіз результатів дослідження хімічного складу показав, що насіння соняшника (сорті Джерело Р-453, Майстер, Бузулук; гібриди Меркурій, Мелін, Альтаір) превалює в загальному об'ємі валового збору на території України. Насіння соняшника є перспективною сировиною для отримання комплексу харчових продуктів підвищеної харчової цінності, зокрема олії, лецитину, харчового білка, вторинних продуктів (макуха/шрот/борошно) і комплексу природних антиоксидантів, що включають хлорогенову кислоту (Gómez, Martínez, 2017; Цихановська, Євлаш, & Лазарева, 2022).

Насіння соняшника є сировинним компонентом для виготовлення добавки, що поліпшує функціональні й технологічні властивості багатьох харчових продуктів,

покращає їх біологічну і харчову цінність, а також показники якості готової продукції. Найбільш цінними властивостями ядра насіння соняшника є: високий вміст протеїну (~39,0%) зі збалансованим амінокислотним складом (Цихановська, Євлаш, & Лазарева, 2022), присутність есенціальних амінокислот, есенціальних поліненасичених жирних кислот; значна кількість антиоксидантів — вітаміну Е — 15,4 мг% і хлорогенової кислоти — 0,321%. Також ядро насіння соняшника характеризується відсутністю токсичних і антипоживних речовин, низькою собівартістю. Все це робить ядро насіння соняшника корисним сировинним інгредієнтом (Grasso, Omoarukhe, Wen, Papoutsis, & Methven, 2019). Тобто ядро насіння соняшника є перспективною сировиною з комплексною дією, що можна використовувати в харчових виробництвах.

Мета дослідження: встановлення можливості використання подрібненого насіння соняшника в технології йогурту з метою збільшення харчової цінності.

Матеріали і методи. Експериментальні дослідження органолептичних, фізико-хімічних і мікробіологічних показників молока та зразків йогурту проводилися у лабораторії кафедри технології молока і молочних продуктів Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького.

Для досліджень було використано молочну сировину виробництва ТОВ «Молочні ріки» (с. Пониковиця, Львівська обл.). В молоці досліджували органолептичні (смак, запах, колір і консистенцію) та фізико-хімічні показники (масову частку жиру, білка, сухих речовин, густину та кислотність).

Наливали досліджуване молоко в циліндр безбарвного скла і визначали його колір. Переливали молоко з одного циліндра в інший і визначали його запах. Наливали в хімічну склянку 10 мл молока, підігрівали його до температури 30—35 °С і визначали смак молока. Переливали молоко з однієї посудини в іншу і визначали його консистенцію.

Дослідження фізико-хімічних показників молока здійснювали на ультразвуковому аналізаторі ЕКОМІЛК.

Для визначення титрованої кислотності молока в чисту, суху колбу на 150 см³ відміряли піпеткою 20 см³ дистильованої води і 10 см³ досліджуваного молока. Залишки продукту на стінках піпетки змивали дистильованою водою, яку внесли в колбу. Далі в колбу додавали три краплі одновідсоткового розчину фенолфталеїну і титрували 0,1 н розчином гідроксиду натрію до появи блідо-рожевого забарвлення, що не зникало протягом 1 хвилини. Кислотність молока (°Т) дорівнювала об'єму гідроксиду натрію, витраченого на титрування, помноженому на 10 (для перерахунку на 100 см³ продукту).

Для експериментальних досліджень було відібрано лущене насіння соняшника, яке промивали тричі для видалення пилу та інших сторонніх речовин. Промите зерно висушували протягом 4 год при температурі 60° С. Висушене зерно соняшника подрібнювали у блендері до порошкоподібної консистенції.

Для проведення експериментальних досліджень було сформовано чотири зразки йогурту (табл. 1).

Титровану кислотність зразків йогурту визначали згідно з ДСТУ ISO 11869:2007 Йогурт. Визначення титрованої кислотності потенціометричним методом (ISO 11869:1997, IDT).

Таблиця 1. Схема досліджу

Зразки	Масова частка соняшника, %
Контрольний зразок	без насіння
Дослідний зразок № 1	1,0
Дослідний зразок № 2	1,5
Дослідний зразок № 3	2,5

В'язкість згустку при виробництві йогурту визначали за часом витікання з піпетки об'ємом 10 мл при температурі 20 °С, у секундах.

Ступінь синерезису йогурту визначали як об'єм сироватки (см³), що виділяється, з 100 см³ перемішаного згустку через фільтрувальний папір протягом 15 хв при температурі 20 °С.

Готовий продукт аналізували на відповідність вимогам чинного ДСТУ 4343:2004. «Йогурти. Загальні технічні умови».

Мікробіологічні показники продукту досліджували згідно з ДСТУ IDF 117В:2003 «Йогурт. Визначення кількості характерних мікроорганізмів. Метод підрахунку колоній за температури 37 °С». Пробу об'ємом 1 мл змішували з 9 мл дистильованої води перемішували до отримання однорідної емульсії, з якої готували десятикратні розведення.

Загальну кількість молочнокислих культур визначали паралельним посівом розведень зразків йогурту в чашки Петрі на середовище Лактобакагар з подальшим інкубуванням у термостаті за температури (37±1)° С протягом трьох днів в анаеробних умовах. Визначення кількості дріжджів і плісені визначали посівом на середовище Сабуро з подальшим інкубуванням у термостаті за температури (25±1)° С протягом 120 год в анаеробних умовах.

Енергетичну цінність йогурту розраховували за формулою:

$$E = 4B + 9Ж + 4В,$$

де *E* — енергетична цінність харчового продукту, ккал/100 г;

B — маса білків, що містяться в продукті;

Ж — маса жирів, які є в продукті;

В — маса вуглеводів, які є в продукті.

Викладення основних результатів дослідження. Технологічний процес виробництва йогурту здійснювали в такій послідовності: приймання й оцінка якості сировини; сепарування молока; нормалізація суміші за масою часткою жиру; пастеризація нормалізованої суміші; охолодження суміші до температури заквашування; заквашування і сквашування суміші; охолодження йогурту; внесення подрібненого насіння соняшника; фасування продукту; зберігання готового продукту.

Йогурт виготовляли резервуарним способом. Охолоджене молоко м.ч.ж. 3,8% (титрована кислотність 17 °Т) нормалізували знежиреним молоком (м.ч.ж. 0,05%) до масової частки жиру у нормалізованій суміші 2,5%. Після нормалізації, суміш направляли на пастеризацію при температурі (95±1) С з витримкою 5 хвилин. В охолоджену до температури (40±1) °С суміш вносили заквашувальну культуру прямого внесення *FD DVS ABY-3*, до складу якого входить *Lactobacillus acidophilus* La-5, BB-12, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* («Хр. Хансен, Україна»). Використання пробіотичних

культур у складі закваски — *Lactobacillus acidophilus* La-5, та ВВ-12 надає продукту функціональних властивостей. Для рівномірного розподілення культури застосовують перемішування протягом 10—15 хвилин. Суміш піддавали ферментації за температури (40±1) °С. Сквашування суміші проводять до досягнення активної кислотності 4,6—4,7 од. рН.

Після сквашування молочної суміші продукт відразу охолоджували до температури 15 °С. У йогурт вносили подрібнене зерно соняшника в розрахункових кількостях, після чого направляли на зберігання при температурі 4—6 °С протягом 14 діб.

Внесення наповнювачів впливає на фізико-хімічні та органолептичні показники продукту, тому проводили дослідження щодо визначення раціонального вмісту насіння в рецептурі йогурту.

Відповідно до рецептури, представленої в табл. 2, виробляли йогурт з додаванням насіння (1; 1,5; 2,5 мас. %).

Таблиця 2. Рецептура йогурту з насінням соняшника

Назва рецептурного складника	Дослідні зразки			
	Контрольний	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Молоко незбиране (м.ч.ж. 3,8%), кг	653,3	646,8	643,5	637,0
Молоко знежирене (м.ч.ж. 0,05%), кг	346,7	343,2	341,5	338,0
Закваска, ум. од. акт.	100	100	100	100
Насіння соняшника	—			
- кг		10,0	15,0	25,0
- %		1,0	1,5	2,5
Всього	1000	1000	1000	1000

Проведено оцінку якості основної сировини — молока, яке використовували для виробництва йогурту. За органолептичними показниками молоко повністю відповідало вимогам ДСТУ 3662:2018: колір — білий, запах і смак — чистий, без сторонніх присмаків і запахів, консистенція — однорідна, без пластівців білка та осаду (табл. 3). За результатами фізико-хімічних досліджень вміст сухих речовин у молоці-сировині — 11,68%, масова частка білка — 3,16%, жиру — 3,8%, густина — 27,0°А.

Отже, досліджуване молоко-сировина за всіма показниками відповідає вимогам ДСТУ 3662:2018 і може використовуватись для виробництва йогурту.

Було проведено оцінку органолептичних показників готового продукту (табл. 4). За результатами даних табл. 4 дослідні зразки йогурту з різною кількістю подрібненого насіння соняшника за органолептичними показниками відрізняються від контрольного зразка.

Таблиця 3. Показники якості молока незбираного

Назва показника	Вимоги ДСТУ 3662:2018	Досліджуване молоко	Метод контролювання
Консистенція	Однорідна рідина без пластівців білка та осаду	Однорідна рідина без пластівців білка та осаду	Візуально
Смак і запах	Чистий, притаманний свіжому молоку, без сторонніх присмаків і запахів	Чистий, притаманний свіжому молоку, без сторонніх присмаків і запахів	Органолептично
Колір	Від білого до світло-кремового	Білий	Візуально
М. ч. сухих речовин, %	12,0—11,5	12,5 ± 0,08	ДСТУ 7057
М. ч. жиру, %	2,8—6,0	3,8 ± 0,03	ДСТУ 7057
М. ч. білку, %	Не менше 2,8	3,16 ± 0,03	ДСТУ 7057
Густина, кг/м ³	1028,0—1027,0	1027,0	ДСТУ 6082
Кислотність, °Т	16—19	17 ± 0,6	ДСТУ 3662

Серед дослідних зразків найкращими органолептичними показниками характеризувався зразок № 1; зовнішній вигляд та консистенція — рідка, з незначними включеннями подрібненого насіння; з приємним запахом і смаком, слабким присмаком насіння та слабким запахом внесеного наповнювача; за кольором — молочний, рівномірний за всією масою. У дослідного зразка № 2 зовнішній вигляд та консистенція рідка неоднорідна, з включеннями подрібненого насіння. Смак з вираженим присмаком насіння та запахом внесеного наповнювача. Колір зі збільшенням кількості подрібненого насіння сіруватий. У зразка № 3 зовнішній вигляд і консистенція рідка неоднорідна з включеннями подрібненого насіння, спостерігали відокремлення сироватки. Смак і запах сильно виражений. Колір молочний з відтінком сірого.

Таблиця 4. Органолептичні показники дослідних зразків йогурту

Показник	Дослідні зразки			
	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Зовнішній вигляд і консистенція	Однорідна за всією масою, в міру в'язка	Рідка, з незначними включеннями подрібненого насіння	Рідка, неоднорідна, з включенням подрібненого насіння	Рідка, неоднорідна, з включеннями подрібненого насіння, спостерігали відділення сироватки
Смак і запах	Чистий, кисломолочний	З приємним, слабким присмаком насіння, слабкий запах внесеного наповнювача	З вираженим присмаком насіння, запах внесеного наповнювача	З яскраво вираженим присмаком насіння, запах внесеного наповнювача

Колір	Білий	Молочний, рівномірний по всій масі	Молочний, зі слабким відтінком сірого	Молочний, з відтінком сірого
-------	-------	------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------

У табл. 5 представлені фізико-хімічні показники дослідних зразків йогурту. За фізико-хімічними показниками встановлено, що найбільшу кислотність у дослідних зразках йогурту мав зразок № 1 — 78 °Т, найменший показник титрованої кислотності зареєстровано у зразку № 3 — 76°Т.

Таблиця 5. Фізико-хімічні показники зразків йогурту

Показник	Дослідні зразки			
	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Титрована кислотність, °Т	77 ± 2,31	78 ± 3,00	77 ± 1,45	76 ± 2,33
Ступінь синерезису, %	38 ± 0,88	43 ± 3,51	54 ± 3,71*	58 ± 3,18**
В'язкість, с	53	45	37	21

Внесення подрібненого насіння соняшника вплинуло на ступінь синерезису зразків йогурту. Гірше втримував вологу зразок № 3 із найбільшим ступенем синерезису 58,3%. Найменшим ступенем синерезису серед дослідних зразків відзначився зразок № 1 — 43,0%. Контрольний зразок достовірно перевищує дослідні зразки за ступенем синерезису на 4,3—19,6% ($P < 0,05$ —0,01).

Внесення більшої кількості подрібненого насіння соняшника в йогурт змінює консистенцію продукту. Більш густою та в'язкою консистенцією характеризувався контрольний зразок. Найгіршими показниками характеризувався зразок № 3 при додаванні 2,5% подрібненого насіння.

Отже, зі збільшенням концентрації насіння в рецептурі зразки йогурту характеризувалися нижчою в'язкістю, що негативно може вплинути на здатність до зберігання продукту.

Для встановлення калорійності продукту у зв'язку з додаванням насіння соняшника було розраховано харчову цінність дослідних зразків йогурту (табл. 6).

Таблиця 6. Харчова цінність 100 г продукту, г

Показник	Дослідні зразки			
	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Жири, г	2,50	3,00	3,38	3,75
Білки, г	3,00	3,17	3,30	3,44
Вуглеводи, г	4,70	4,68	4,67	4,66
Калорійність, ккал	53,3	58,3	62,3	66,1

Зі збільшенням концентрації насіння в дослідних зразках йогурту підвищується вміст жирів, білків і калорійність. Так, контрольний зразок мав менший вміст жирів і білків порівняно з дослідним зразком № 1 на 0,50 г та 0,17 г, зразком № 2 —

на 0,88 та 0,30 г, зразком № 3 — на 1,25 та 0,44 г, калорійності, відповідно, на 5,0, 9,0 та 12,8 ккал.

Згідно з ДСТУ 4343:2004. «Йогурти. Загальні технічні умови» в йогурті нормується кількість бактерій групи кишкової палички, контролюється наявність патогенних мікроорганізмів, зокрема бактерій роду *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* та *Listeria monocytogenes*. Визначення БГКП у 0,01 г зразків йогурту свідчать про їх відсутність у продукті.

Вищий рівень молочнокислих мікроорганізмів зафіксовано у зразках йогурту з подрібненим насінням соняшника, що свідчить про симбіоз між молочнокислою мікрофлорою та насінням.

Таблиця 7. Мікробіологічні показники зразків йогурту

Найменування показника	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Кількість життєздатних клітин, КУО/см ³ : лактобактерій	$8,2 \times 10^7$	$8,5 \times 10^7$	$8,9 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$
Бактерії групи кишкової палички, в 0,01 см ³	відсутні	відсутні	відсутні	відсутні
Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 см ³	відсутні	відсутні	відсутні	відсутні
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 1 см ³	відсутні	відсутні	відсутні	відсутні
<i>Listeria monocytogenes</i> , в 25 см ³	відсутні	відсутні	відсутні	відсутні
Кількість дріжджів в 1 г продукту, КУО	<10	<10	<10	<10
Кількість плісені в 1 г продукту, КУО	<10	<10	<10	<10

За вмістом патогенних мікроорганізмів усі зразки йогурту відповідали вимогам чинного стандарту.

Висновки

Використання більшої кількості соняшникового насіння у виробництві йогурту негативно вплинуло на його органолептичні показники. Серед дослідних зразків найкращими органолептичними показниками характеризувався зразок при додаванні 1% насіння; зовнішній вигляд і консистенція — рідка, з незначними включеннями подрібненого насіння; з приємним запахом і смаком, слабким присмаком насіння та слабким запахом внесеного наповнювача; за кольором — молочний, рівномірний за всією масою.

Внесення подрібненого насіння соняшника в кількості 1,5 та 2,5% погіршує фізико-хімічні показники йогурту, при цьому підвищується ступінь синерезису на 4,3—19,6% ($P < 0,05$ —0,01) та знижується в'язкість йогурту.

Зі збільшенням концентрації насіння в дослідних зразках йогурту підвищується вміст жирів, білків і калорійність продукту.

З метою збагачення йогурту білками та жирами рекомендуємо використовувати при його виробництві подрібнене насіння соняшника в концентрації не більше 1%.

Література

- Бондарчук, В. М., Маландій, Є. В., Мельник, Я. О. (2013). Обґрунтування технології виробництва йогурту з соком барбарису та дослідження його властивостей. *Безпека продуктів харчування та технологія переробки*, 2(72), 159—166.
- Берник, І. М., Новгородська, Н. В., Соломон, А. М., Овсієнко, С. М., & Бондар, М. М. (2022). *Інноваційні технології харчових виробництв*: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В.
- Камсуліна, Н. В., Скуріхіна, Л. А., Губаль, Л. М. (2015). Дослідження функціонально-технологічних властивостей білків із насіння соняшника. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 2(22), 50—61.
- Кудріна, В. С. (2021). *Формування продуктивності соняшнику залежно від елементів технології вирощування в умовах південного степу України*: дис. ... к. с.-г. наук: 06.01.09. Миколаїв.
- Рацук, М. Є., Сарібскова, Д. Г. (2021). Одержання функціональних йогуртів з цукрозамінниками природного походження. *Вісник Хмельницького національного університету*, 1 (293), 217—221.
- Самілик, М., Демидова, Є. (2022). Використання нетрадиційної сировини у технології виробництва йогурту. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*, 5(2), 281—291.
- Соломон, А. М., Новгородська, Н. В., & Бондар, М. М. (2019). *Кисломолочні десерти з подовженим терміном зберігання* [Монографія]. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: РВВ ВНАУ.
- Цихановська, І. В., Євлаш, В. В., & Лазарева, Т. А. (2022). Технологічні аспекти використання борошна з екструдованого ядра насіння соняшника у виробництві житньо-пшеничного хліба.
- Gómez, M., Martinez, M. M. (2017). Fruit and vegetable by — products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58 (13), 2119—2135.
- Grasso, S., Omoarukhe, E., Wen, X., Papoutsis, K., & Methven, L. (2019). The Use of Upcycled Defatted Sunflower Seed Flour as a Functional Ingredient in Biscuits. *Foods*, 8(8), 305.
- Kaprelyants, L., Yegorova, A., Trufkati, L., & Pozhitkova, L. (2019). Функціональні продукти харчування: перспективи в Україні. *Food Science and Technology*, 13(2), 15—23.
- Nabavi, S. M., & Silva, A. S. (Eds.). (2018). *Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements*. Academic Press.
- Odarchenko, D., Spodar, K., Karbivnycha, T., & Sokolova, E. (2020). Conducting commodity assessment of lactose free and ordinary (lactose) yoghurts on the example of ukrainian producers. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(56), 27—30.
- Okoniewski, A., Dobrzyńska, M., Kusiak, P., Dziedzic, K., Przysławski, J., & Drzymała-Czyż, S. (2023). The Role of Fermented Dairy Products on Gut Microbiota Composition. *Fermentation*, 9(3), 231.
- Pavlyuk, R., Pogarskaya, V., Balabai, K., Kravchuk, T., Pogarskiy, A. (2019). Development of healthy sour-milk beverages with the use of natural nanoadditives. *Food science and technology*, 13(4), 127—137.
- Rozenberg, S., Body, J.-J., Bruyère, O., Bergmann, P., Brandi, M. L., & Cooper, C. (2015). Effects of Dairy Products Consumption on Health: Benefits and Beliefs — A Commentary from the Belgian Bone Club and the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases. *Calcified Tissue International*, 98(1), 1—17.
- Shivasamy, M. S., Bharathi, V. M., Pradusha, R., & Kishore H. L. (2021). Optimization of plant seed fortified yogurt. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8(5), 3356—3363.

MODERN TRENDS IN OMICS-BIOTECHNOLOGIES – FROM NUTRIGENOMICS TO PERSONALISED DIETS. PART 2

L. Kaprelyants, L. Pozhitkova, T. Velichko, M. Okhotska

Odessa National University of Technologic

O. Bilyk

National University of Food Technologies

Key words:

Omics technologies
Epigenomics
Epigenetic modifications
Mechanisms of action of
nutrients
Holobiont
Microbiome
Personalized nutrition
Individual medicine

Article history:

Received 01.03.2024
Received in revised form
15.03.2024
Accepted 29.03.2024

Corresponding author:

O. Bilyk
E-mail:
bilyklena@gmail.com

Citation: Л. В. Капрелья-
янци, Л. Г. Пожиткова,
Т. О. Величко, М. І. Охотсь-
ка, О. А. Білик (2024). Су-
часні тренди в омікс-біо-
технологіях — від геномі-
ки до персоналізованих
дієт. Частина 2. *Наукові*
праці НУХТ, 30(2), 180—
202.

DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-2-16

ABSTRACT

In the 1-st part of the review were examined the omics technologies (nutro-genomics and nutrodenetics, metabolomics, transcriptomics, proteomics, metage-nomics, foodomics). Who are playing an increasingly important role in modern nutritional science and wich are engaged in study of influence of nutritional factors on genes, iRNA, proteins and metabolits located in our body. They use new genomic biotechnologies called omics. Omics data is set of all molecules of a certain level that reflect the the state of an organism or its parts.

Further work is needed to realize the full potential of the results of omics technologies data, biomarkers and demonstrate integration with current strategies to overcome the established limitations of self-reporting approaches and introduction of personalized diet and individual medicine. Trends in the development of omics technologies in improving human health are rapidly gaining popularity, including: epigenomics for studying changes in metthylated DNA patterns and host modifica-tions; metagenomics for the analysis of microbial populations.

The review provides a schematically shows the sequence of the influence of the components of the foods on human epigenomic modification and the directions of genomic and epigenomsc changes in DNA. Considered the human microbiome and its impact on various aspects of human health.

A review of the literature established that both the presence of food and its absence—hunger—affect the activation and suppression of genes. Hunger suffered by the fetus in the early stages of pregnancy doubles the risk of mental illness, obesity, hypertension, and diabetes. Scientists explained this by hormonal regulation disorders that arose under the influence of intrauterine hunger.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-16

СУЧАСНІ ТРЕНДИ В ОМІКС-БІОТЕХНОЛОГІЯХ — ВІД ГЕНОМІКИ ДО ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ ДІЄТ. ЧАСТИНА 2

Л. В. Капрельянец, Л. Г. Пожиткова, Т. О. Велічко, М. І. Охотська

Одеський національний технологічний університет

О. А. Білик

Національний університет харчових технологій

У першій частині огляду були розглянуті омікс-технології (нутригеноміка та нутригенетика, метаболоміка, транскриптоміка, протеоміка, метагеноміка, фудоміка та ін.), які відіграють усе більш важливу роль у сучасній науці про харчування та займаються вивченням впливу факторів харчування на гени, iRNA, білки та метаболіти, що локалізовані в нашому організмі. Вони використовують нові геномні біотехнології, які називаються омікс-технологіями. Дані омікс-досліджень — це сукупність усіх молекул певного рівня, які відображають стан організму людини або його частин.

Необхідний подальший розвиток цих досліджень, щоб реалізувати весь потенціал результатів даних омікс-технологій, біомаркерів і продемонструвати їх інтеграцію з поточними стратегіями розвитку нутриціології для подолання встановлених певних обмежень і підходів до впровадження персоналізованих дієт та індивідуальної медицини. Тенденції у розвитку омікс-технологій для покращення здоров'я людини швидко набувають розвитку, включаючи епігеноміку — для вивчення змін у структурах метильованих ДНК, метагеноміку та аналіз мікробіому людини.

В огляді схематично показана послідовність впливу компонентів харчових продуктів на епігеномну модифікацію та напрями геномних і епігеномних змін ДНК. Розглянуто мікробіом людини та його вплив на різні аспекти здоров'я людини, загальні уявлення про індивідуальну медицину і персоналізоване харчування.

Ключові слова: омікс-технології, епігеноміка, епігенетичні модифікації, механізми дії нутрієнтів, холобіонт, мікробіом, персоналізоване харчування, індивідуальна медицина.

*«Діагностика досягла таких успіхів,
що здорових людей практично не залишилось»
Бертран Артур Вільям Ріссел*

Постановка проблеми. Як відмічалось в першій частині огляду («Наукові праці НУХТ», 2023, т. 29, № 5, с. 281—301), в наш час науки, засновані на омікс-технологіях, набули величезної привабливості: виявлено вплив дієти і харчових компонентів на здоров'я людини, а сферами, пов'язаними з цим напрямком досліджень, є взаємодія компонентів їжі та генів, епігенетика та біомаркери. Крім того, деякі, на перший погляд, несуттєві харчові речовини і біологічно активні компоненти їжі також змінюють генетичні та епігенетичні процеси в організмі людини. Тобто в останні роки дослідження в галузі нутриціології та здорового харчування перейшли від класичної епідеміології та фізіології до молекулярної

біології, генетики та епігенетики. Дотримуючись сучасних тенденцій, нутригеноміка стала новою міждисциплінарною ланкою досліджень в галузі нутриціології, метою якої є з'ясування того, як дієта може впливати на здоров'я людини і продовження її життя (Hinojosa-Nogueira та ін., 2023).

Відомо, що біологічно активні речовини можуть взаємодіяти з генами людини, що впливає на фактори транскрипції, експресію білків і вироблення метаболітів. Вивчення цих складних взаємодій потребує розробки передових аналітичних підходів у поєднанні з біоінформатикою. Для проведення цих досліджень використовуються омічні підходи транскриптоміки, протеоміки і метаболоміки разом з адекватною інтеграцією інформації, яку вони надають. Підкреслювалось, що людина — це складний «надорганізм», симбіотичне співтовариство численних еукаріотичних клітин і різноманітних мікроорганізмів, оптимальна кількість, співвідношення, функціонування і взаємодія яких обумовлює її здоров'я. Загальна кількість соматичних і зародкових клітин цього «надорганізму» досягає одного трильйона, а мікробних клітин — більше 100 трильйонів (Pflughoeft, & Versalovic, 2012).

Взаємодія між господарем і його мікробіотою в конкретних умовах проживання — головний фактор, який визначає ріст, розвиток, здоров'я і середню тривалість життя людини. Різні біологічні та абіотичні фактори і агенти здатні стабільно чи зворотно модифікувати ці взаємовідношення та, як наслідок, схилити до ризику виникнення і розвитку тих чи інших захворювань (Shenderov, 2011; Kaprel'yants, 2015).

Систематизація омікс-технологій дає змогу здійснити системний підхід до вивчення впливу раціонів харчування на якість життя людини. Механізми інформаційного керування життєво важливими процесами формуються за допомогою біохімічних реакцій, інтенсивність і характер яких визначається геномом людини (Saxelin, Tynkkynen, Mattila-Sandholm, & de Vos, 2005; Schnackenberg, & Beger, 2006).

Також була встановлена роль симбіотичної кишкової мікробіоти в епігеноміці метаболічного синдрому, ожиріння, цукрового діабету та інших патологічних станів (Collins та ін., 2006). Дані, отриманні за допомогою сучасних методів транскриптоміки, протеоміки і метаболоміки, дають змогу краще розуміти процеси, що відбуваються в клітинах макро- та мікроорганізмів, які сприяють стабілізації та нормальному функціонуванню мікробіоти для оптимізації життєдіяльності організму людини в цілому (Simon, & Daniel, 2011).

Одним з основних завдань нутригеноміки є пошук молекулярно-генетичних маркерів фізичного стану людини. Дослідження виявили значний вплив режиму харчування на формування хвороб та оцінку харчового статусу людини, що надає можливість визначити певні напрямки корекції раціонів харчування. Дослідження впливу раціонів харчування на геном людини та схильність людини до спадкових хвороб є одним з важливих напрямків нутригеноміки, яка знаходиться на стику декількох галузей знань: фізіології харчування, біотехнології, генетики, товарознавства й технології харчових виробництв. Необхідність збалансованого застосування результатів кожного з вказаних наукових напрямків для досягнення результату в підсумку дасть змогу розробити теорії персоналізованого харчування,

які ставлять на меті враховувати фізіологічні потреби та психоемоційні вповодження окремих споживачів чи соціальних груп (German, Zivkovic, Dallas, & Smilowitz, 2011).

Незважаючи на разючий прогрес у галузі нутриціології, а також значне збільшення тривалості життя людей (приблизно на 2,5 місяця на рік у багатьох країнах протягом попередніх 150 років), сучасні дослідження в цій галузі мають значно більший потенціал, щоб як і раніше сприяти покращенню здоров'я поточного та майбутніх поколінь (Visioli, Marangoni, Poli, Ghiselli, & Martini, 2022).

Основна увага приділяється моделям харчування та біоаналітичному інструментарію, які використовуються для виявлення певних компонентів їжі. Отримані первинні дані демонструють, що класифікація продуктів харчування залежить не тільки від їх складу, але й від розподілу продуктів харчування в загальному раціоні людини. Щоб узяти до уваги значення продуктів харчування в раціоні населення в цілому, а також дітей та інших конкретних груп, також необхідно створювати моделі профілей поживних речовин (NP-моделі), які розробляються для запобігання захворювань і передусім найбільш поширеними (ожиріння, цукровий діабет, дефіцит вітамінів і мінералів тощо).

Подібна впевненість базується на революційних відкриттях у молекулярних та системних технологіях, які застосовуються для вирішення проблем харчування: дані сучасної епідеміології та реєстрація прийому їжі, геноміки з одонуклеотидними поліморфізмами (ОНП) та епігеноміки, транскриптомики, протеоміки, метаболоміки, розширеної біостатистики (біоінформатики), візуалізації, калориметрії, клітинної біології, контрольних тестів (харчування, дієта, фізичні навантаження тощо), а також інтеграція всіх даних за допомогою досліджень системної біології забезпечить розуміння набагато вищого рівня, ніж сьогодні, в галузі, яку називають «дослідженнями молекулярного харчування».

Масштабність геномної інформації та високопродуктивні технології її профілювання нині вже використовуються вченими в сучасній нутриціології. Доведено, що дієта та харчові компоненти є основними факторами навколишнього середовища, які впливають на геном, транскриптом, протеом і метаболом, і ця взаємодія протягом усього життя визначає здоров'я або хвороби людини.

Вперше взаємодію харчових продуктів та окремих харчових компонентів з біологічними системами стало можливим визначити на молекулярній основі. Технології профілювання використовуються у фундаментальних наукових додатках для визначення механізмів дії харчових продуктів або конкретних інгредієнтів, а також застосовуються при науково-обумовленій розробці продуктів харчування з певною біофункціональністю. Профілі та закономірності біомаркерів, отриманих у результаті застосування геноміки на людях, мають бути орієнтиром у галузі нутриціології при розробці науково обґрунтованих дієтичних рекомендацій і певних продуктів, що сприяють зміцненню здоров'я людини (Norheim та ін., 2012).

Мета статті: огляд літератури, що стосується сучасних трендів у новітньому напрямі створення і використання даних омїкс-технологій.

Матеріали і методи. Матеріалами досліджень стали наукові публікації зарубіжних вчених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що

стосуються створення оздоровчих і функціональних харчових продуктів нового покоління.

Викладення основних результатів дослідження. Значення епігенетики в нутригеноміці та епігенетичні модифікації регуляції активності генів. Експресія генів — це процес, в ході якого спадкова інформація від гена перетворюється на функціональний продукт — РНК або білок. Експресія генів регулюється на різних стадіях, але головний контрольний пункт — це початок транскрипції (синтезу РНК на матриці ДНК). Ініціація транскрипції залежить як від наявності необхідних білків (транскрипційні чинники, ферменти тощо), так і від доступності (спорідненості) ДНК цих білків (тобто від епігенетичних модифікацій). Компоненти їжі здатні впливати на обидва процеси (Müller, 2003; Fenech, 2011; Омельчук, 2017).

Сам термін «епігенетика» виник у 40-х роках ХХ століття. Епігенетичні механізми регуляції активності генів — це своєрідна «надбудова» над незмінною послідовністю ДНК. Геном всіх клітин організму однаковий, але при цьому клітина нервової системи значно відрізняється від, наприклад, клітин епітелію або кардіоцитів. Таке диференціювання досягається через те, що в різних клітинах гени працюють по-різному (Meaburn, & Schulz, 2012).

Усі клітини нашого організму (від нейронів до лейкоцитів, несуть однаковий генетичний матеріал. Але в кожній клітині експресується спеціальний набір генів, які визначають спеціалізацію клітин.

«Включення/вимкнення» генів регулюється епігенетичними модифікаціями. У клітині ДНК компактизована, тобто намотана на «намистини» — комплекс білків гістонів, різні хімічні модифікації яких «включають» або «вимикають» ген. Крім цього, «вимикання» генів відбувається при модифікації безпосередньо молекули ДНК (процес метилювання). Деякі компоненти їжі суттєво впливають на ці процеси. Наприклад, «включення» гена може здійснюватися ацетилюванням гістонів, а «виключення» відбувається при модифікації безпосередньо молекули ДНК — процес метилювання (рис. 1).

У всіх цих впливах реалізація спадкової інформації поєднується із сигналами від зовнішнього та внутрішнього середовищ організму людини, які реалізуються як оборотна хімічна модифікація нуклеотидів — метилювання цитозинів, модифікація гістонів, синтез мікро РНК та інші молекулярні процеси. Епігенетичні зміни найчастіше зачіпають одне покоління, наприклад, при народженні відбувається тонке налаштування активності генів під умови середовища, яке може в одних випадках зберігатися протягом життя, а в інших, навпаки, з віком зникати.

Розглянемо окремі напрямки епігенетичної модифікації ДНК.

1. Ацетилювання гістонів («включення» гена). Сульфарафан (що міститься в капусті, броколі, цвітній капусті) і діалілдисульфід (в часнику) «включають» гени шляхом пригнічення дії ферментів, які репресують ген за допомогою зняття ацетильної мітки з гістонів. Тому сульфарафан здатний «включати» гени, що «мовчать» у ракових клітинах, — регулювальники нормального поділу, що пригнічує зростання пухлини. Також, наприклад, масляна кислота, яка утворюється мікробіотою ШКТ людини при вживанні клітковини, впливає аналогічно на роботу генів, а також активує імунну систему, що пригнічує зростання ракових клітин (Myzak, & Dashwood, 2006).



Рис. 1. Послідовність впливу компонентів їжі на епігенетичні модифікації геному та виникнення хвороб людини

2. Метилювання ДНК («вимикання» гена). Джерела метильних груп (холін, метіонін, фолієва кислота) містяться в яйцях, шпинаті, бобових, печінці тощо. У дорослих щурів хронічний дефіцит метильних груп спричиняє спонтанне утворення пухлин, а також веде до активації мобільних елементів генома. Метилювання ДНК — це приєднання метильної (CH₃) групи до п'ятого вуглецю цитозину з утворенням 5-метилцитозину за допомогою ДНК-метилтрансфераз (рис. 1), які переносять метильну групу S-аденозилметіоніну (Fenech, 2005; Waterland, 2003).

Послідовність етапів впливу компонентів нутрієнтів і біоактивних речовин їжі (від 1 до 10 етапу) може мати таку спрощену форму:

дієта → *генотип* (генетична інформація) → *фенотип* → *здоров'я чи хвороба*.

Існують диференційовані різниці у змінах (генетичних та епігенетичних), які відбуваються в ДНК під впливом компонентів їжі (рис. 2).

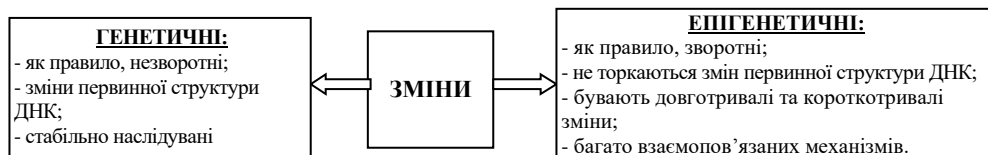


Рис. 2. Напрямки генетичних і епігенетичних змін у ДНК

Аберації метилювання ДНК (відхилення від норми), одного з головних «стовпів» епігенетики, відіграють визначальну роль при різних типах виникнення раку і порушеннях розвитку, наприклад, при синдромі ламкої X-хромосоми, синдромі Прадера-Віллі, Ангельмана і Беквіта-Відемана (Relton, Hartwig, & Smith, 2015).

3. Для нормального розвитку плоду і перебігу вагітності у жінок використовуються різні джерела метильних груп, зокрема, фолієва кислота. При її дефіциті підвищується ризик передчасних пологів, викиднів, а також можливі патології в нервовій системі плоду і низька вага новонародженого. Точні механізми дії фолієвої кислоти до сих пір незрозумілі, відомо лише, що посилюється метилювання гена IGF2 (інсуліноподібного фактора росту 2), який бере участь у рості та розвитку плоду (Scholl, 2000; Steegers-Theunissen, 2009).

Існує інший механізм, за допомогою якого їжа змінює експресію генів за такою схемою:

«компонент їжі → рецептор → сигнальний шлях → транскрипційний фактор → включення генів» (рис. 3) (Efeyan, 2015; Fenech, 2011).

Рецептори розпізнають чітко визначену структуру речовин, тому схожі за будовою компоненти їжі по-різному впливають на організм (наприклад, насичені та ненасичені жири).

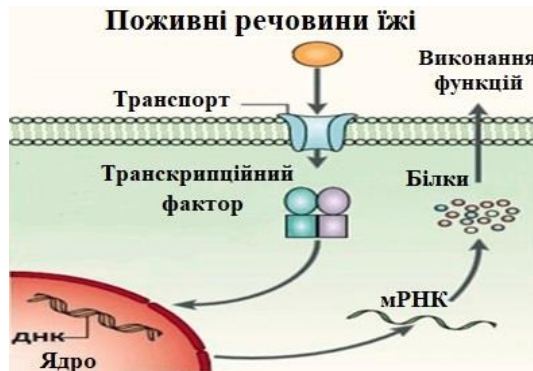


Рис. 3. Механізми дії нутрієнтів на експресію генів через транскрипційні фактори (Müller, синдромі ломкої Х-хромосоми Kersten, 2003)

У наведеній схемі можливі невеликі варіації, наприклад, ядерні рецептори поєднують у собі функції рецептора і транскрипційних факторів (інша назва — специфічні до послідовності ДНК-зв'язувальні фактори: вони розпізнають різні гідрофобні компоненти їжі чи їх похідні (жирні кислоти, вітамін D, ретиноеву кислоту, солі жовчних кислот тощо), а потім змінюють активність генів, які вони регулюють (Mangelsdorf, 1995; Francis, 2003).

Різні фактори транскрипції можуть як сприяти зв'язуванню РНК-полімерази з промотором (у такому разі спостерігається активація транскрипції, а сам фактор називається «активатором»), так і запобігати зв'язуванню РНК-полімерази (у такому разі відбувається репресія транскрипції, а сам фактор називається «репресором») (Linzer та ін., 2021).

Отже, епігенетика вивчає мітотичні чи мейотичні успадковані і зворотні зміни, які впливають на експресію генів і стабільність геному, але відбуваються без зміни в послідовності ДНК. При цьому на епігенетичні зміни можуть впливати фактори навколишнього середовища, як, наприклад, метали, стійкі органічні забруднення

чи ендокринні порушення, викликані хімічними речовинами різного походження, включаючи харчові продукти та інгредієнти.

Розширення епігенетики до епігеноміки, як і генетики до геноміки, полягає в розширенні центра уваги від конкретних локусів до великих чи повних наборів епігенетичних ознак, які впливають на *фенотип* індивіду. Аналогічним чином можливо перейти від окремих індивідів до безлічі родинних геномів і пов'язаних з ними епігеномів, які утворюють популяції чи види. Епігеном складається з маркованої метилованням ДНК і модифікацій гістонів та бере участь в управлінні експресією генів і клітинною функцією, «включаючи» чи «вимикаючи» певні гени, що впливає на більшість біологічних процесів, таких як розвиток, старіння й омолодження, формування пам'яті, навчання, розвиток хвороб й одужання від них тощо (Mishra та ін., 2022).

Роль епігенетичних змін у старінні, розвитку вікових захворювань, омолодженні й довголітті є новою галуззю досліджень. Краще розуміння того, як епігеном змінюється з часом і впливає на старіння дасть змогу уповільнити процеси старіння або знизити ризик вікових захворювань.

Зростає інтерес до вивчення епігеноміки навколишнього середовища, зосереджуючись на тому, як фактори навколишнього середовища та способу життя, такі як харчування, стрес і токсини, можуть викликати епігенетичні зміни, що впливають на здоров'я та захворювання. Розуміння впливу навколишнього середовища на епігеном може призвести до втручань, які змінюють ці впливи для зміцнення здоров'я та запобігання захворюванням. Епігеномні зміни пов'язані з різними захворюваннями, особливо онкопатологією (Hudlikar, 2021; Hubers, 2023).

Водночас галузь нутрігеноміки, яка досліджує взаємодію між поживними речовинами та геномом визначила способи, за допомогою яких дієта може впливати на епігеном. Поживні речовини впливають на моделі метиловання та модифікації гістонів, впливаючи таким чином на експресію генів. Інтеграція нутрігеноміки з підходами до персоналізованої медицини спрямована на формування індивідуальних дієтичних рекомендацій для профілактики та лікування захворювань (Jabeen, 2023; Pagiatakis, 2021; La Torre, 2023).

Нутрігенетика досліджує ефекти генетичної варіабельності у впливі дієти на здоров'я. Метою нутрігеноміки є дослідження оптимального раціонального харчування для підтримки здоров'я чи для лікування конкретних хвороб.

Отже, продукти харчування можуть «включати» чи «вимикати» конкретні гени, активуючи певні фізіологічні процеси, що сприяють розвитку чи лікуванню різноманітних захворювань. Основна увага при цьому приділяється профілактиці та корекції специфічних генетичних розладів. Прикладами генетично пов'язаних розладів, на які впливає корекція харчування, є ожиріння, ішемічна хвороба тощо (de Souza, 2017; Ferguson, 2014).

Епігенетика вивчає механізми впливу навколишнього середовища на геном і, відповідно, на здоров'я людини. Іншими словами — наше життя, як і наші хвороби, на 90% визначаємо особисто ми. При цьому зміни нашого генома відбуваються напрочуд швидко і піддаються дуже точному вимір: Щодня, дбаючи про себе, своє харчування, емоційний і фізичний стан, ми сприяємо «вимиканню» певної кількості генів, відповідальних за хворобу і «включення» генів, які відповідальні за підтримку здоров'я!

Наведемо деякі наукові результати, що проілюструють цей науковий підхід.

Профілактика ішемічної хвороби серця (ІХС). Як було відмічено, гени, пов'язані з харчуванням, проявляються через чутливість організму до певних компонентів їжі. У дослідженнях ІХС існує зв'язок між хворобою та наявністю двох алелів, виявлених у локусах аполіпопротеїнів Е та В. Ці відмінності локусів призводять до індивідуальних реакцій на споживання ліпідів. Деякі люди відчувають збільшення ваги та більший ризик ІХС, тоді як інші з іншими локусами — ні. Дослідження показали пряму залежність між зниженням ризику ІХС і зниженням споживання певних ліпідів у різних групах населення (Cornelis, & El-Soheemy, 2007).

Профілактика онкологічних захворювань. Від особливостей транспорту та метаболізму поживних речовин залежить і розвиток (або запобігання) пухлинних захворювань. Наприклад, поширена мутація, що знижує ефективність ферменту, необхідного для метилювання ДНК. При нестачі в їжі джерел метильних груп (фолату, холіну тощо) носії такої мутації мають підвищену ймовірність захворіти на колоректальний рак. Для таких людей вживання алкоголю — це додатковий фактор, який погіршує стан здоров'я, так як алкоголь знижує абсорбцію фолату і збільшує його виведення з організму.

Вживання червоного м'яса суттєво підвищує ризик розвитку колоректального раку як у власників N-ацетилтрансферази, так і у носіїв особливої комбінації поліморфізмів у гені цитохрому P450. Виявлено також, що ймовірність онкологічних захворювань зростає за наявності мутації в гені одного з типів глутатіон-трансфераз (ферментів, що беруть участь у детоксикації) та постійному надходженні в організм токсинів (при курінні, у процесі токсичних виробництв тощо). Тому вживання капусти та інших хрестоцвітих овочів, навпаки, буде вкрай корисним, оскільки вони містять речовини, що збільшують активність глутатіон-трансфераз (Levine, 2014; Ordovas, 2004).

Омолодження та здорове довголіття. Рандомізоване клінічне дослідження 2021 р. 43 здорових людей у віці від 50 до 72 років показало, що вісім тижнів здорового способу життя — переважно рослинна дієта, достатній сон, фізичні вправи та активне розслаблення, прийом пробіотиків та фітонутрієнтів, омолодили біологічний (епігенетичний) вік людей у середньому на 2—3 роки. Ці переваги пояснюються великою кількістю харчових біологічно активних сполук, присутніх у продуктах здорового раціону харчування, таких як куркума, різноманітні поліфеноли (наприклад, ресвератрол), лікопен, кверцетин, ПНЖК тощо. Ці біологічно активні речовини модифікують експресію генів та епігеном, запобігаючи таким чином розвитку багатьох захворювань (Kara, 2021; Divella, 2020).

Молекулярно-генетичні механізми дії компонентів їжі та потенціал використання нутрігенетики. Визначення біохімічних шляхів взаємодії компонентів їжі та генів забезпечить ефективне лікування багатьох хронічних неінфекційних захворювань (наприклад, діабет, новоутворення, серцево-судинні захворювання тощо), а також запобігатиме їх розвитку завдяки виявленню ранніх маркерів порушень метаболізму, складаючи персоналізовані плани (програми) здорового харчування (Neeha, & Kinth, 2013).

Їжа складається з білків, вуглеводів і жирів. Ці компоненти їжі розщеплюються в процесі травлення у ШКТ до більш простих речовин (амінокислоти, моноцукри,

жирні кислоти), які далі транспортуються в клітини організму і зв'язуються рецепторами. Сигнал від рецептора поширюється клітиною, доходить до ядра і експресія генів змінюється. Тривалі зміни в експресії генів, зрештою, позначаються на здоров'ї й тривалості життя людини (Garg, Sharma, & Jain, 2022).

Утворені в ШКТ амінокислоти транспортуються всередину клітин. У клітинній цитоплазмі присутні молекули mTOR (mammalian target of rapamycin), які активуються високою концентрацією пулу амінокислот і регулюють численні напрямки метаболізму в клітині. Відмічено, що сигнальний шлях mTOR — консервативний біохімічний шлях, що регулює старіння у тварин. Досліджено, що генетичні мутації, які послаблюють сигнал mTOR-шляху, продовжують життя черв'яків, мушок і мишей (Levine, 2014).

Оскільки mTOR активується амінокислотами, то можна очікувати, що раціон з обмеженим вмістом білків буде сприятливо позначатися на здоров'ї та довголітті. Справді, споживання малої кількості білків або метіоніну підвищує тривалість життя у модельних тварин (Solon-Biet та ін., 2015).

Дієта з низьким співвідношенням білків і вуглеводів знижує у людей ризик розвитку раку, ожиріння та нейродегенеративних захворювань (Verburgh, 2015). Згідно з дослідженнями, люди похилого віку (50—65 років), які отримують з білків понад 20% добових калорій у чотири рази (!) частіше вмирають від раку, а рівень їхньої загальної смертності на 75% вищий порівняно з людьми, які дотримуються низькобілкової дієти (тобто менше 10% добових калорій) (Gupta, Shyam, Devi, & Maurya, 2020). Цікаво, що кореляцію між вживанням рослинних білків і рівнем смертності не виявлено. Вважається, що це обумовлено також амінокислотним складом рослинних білків, деякі з яких містять вуглеводні складові, які розщеплюються до моноцукрів (глюкоза). Підвищення рівня глюкози в крові викликає вироблення гормону інсуліну. Інсулін уловлюється рецепторами на поверхні клітин, що призводить до активації сигнального шляху IIS (Insulin/Insulin-like growth factor Signaling), який запускає поглинання клітинами глюкози, а також стимулює клітинний ріст і поділ. Сигнальний шлях IIS тісно переплетений зі шляхом mTOR, відповідно, рівень його активації має наслідки для здоров'я й тривалості життя. Миші, гетерозиготні за рецептором IGF-1 (Insulin-like growth factor) (Igf1r^{+/-}), у середньому жили на 26% довше, ніж їх гомозиготні брати (Igf1r^{+/+}). Щодо людей, то генетичні поліморфізми, які знижують рівень сигналу IIS-шляху, асоційовані з довголіттям (Hosomi та ін., 2013).

Численні дослідження демонструють, що обмеження калорій у тварин знижує рівень IGF в крові; замість з IGF падає і ризик розвитку атеросклерозу, раку та інших хвороб (Efeyan, Comb, & Sabatini, 2015). У людей, які голодують декілька днів на тиждень (споживання менше 25% від добової норми калорій), покращуються такі маркери серцево-судинних хвороб, як рівень холестерину (ЛПНГ) в крові та чутливість до інсуліну (Davidson, 2004).

Ліпіди переробляються у ШКТ до жирних кислот, моногліцеролів і гліцеролу. Біохімічні ефекти жирних кислот активно досліджуються в нутригеноміці, тому що вони запускають низку сигнальних шляхів, і багато захворювань пов'язані саме з порушенням ліпідного обміну. Жирні кислоти можливо розділити на два основних класи: *ненасичені* (до яких відносяться поліненасичені жирні кислоти і трансжири) та *насичені*.

Поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК). ПНЖК містяться в оливковій олії, насінні, тунці, лососі тощо. ПНЖК необхідні для нормальної роботи організму, їх споживання благотворно впливає на роботу серцево-судинної і нервової систем (Francis, Fayard, Picard, & Auwerx, 2003). Всередині клітини ПНЖК розпізнаються ядерними рецепторами PPAR (*peroxisome proliferator — activated receptors*), які також виконують функції транскрипційних факторів і регулюють гени метаболізму. Активація PPAR α у печінці сприяє катаболізму жирів в організмі (тобто їх утилізації). Також ПНЖК знижують експресію генів, залучених у синтезі холестерину та жирних кислот. Особливо корисні для організму омега-3-жирні кислоти, якими багаті риб'ячий жир, льняна олія і грецькі горіхи. Риб'ячий жир знижує рівень холестерину в крові та печінці (Tall, & Yvan-Charvet, 2015).

Останні дослідження демонструють, що ω -3-жирні кислоти (але не ω -6-ЖК) інгібують ріст раку ободової кишки *in vitro* та *in vivo* (Mishra, 2022). Крім цього, ω -3-жирні кислоти мають протизапальну дію, тому що функціонують як субстрати для синтезу протизапального простагландину E₃, протектинів і резолвінів, які беруть участь у розсмоктуванні запалення і захисті клітин (Hudlikar та ін., 2021). Крім того, ω -3-жирні кислоти змінюють ацетилювання гістонів і таким чином здійснюють вплив транскрипційного фактора NF- κ B на гени імунної відповіді та апоптозу, які він регулює (Hudlikar та ін., 2021).

Трансжири утворюються з ненасичених жирних кислот при виробництві, наприклад, маргарину, який широко використовують у рецептурах виготовлення випічки, крекерів, чипсів тощо. Дослідження показали, що існує пряма залежність між споживанням трансжирів і розвитком серцево-судинних захворювань, діабету, ожиріння, алергії, раку молочних залоз (Dhaka, Gulia, Ahlawat, & Khatkar, 2011). В експериментах, проведених на мишах, учені визначили, що трансжири посилюють у печінці експресію PGC-1 — ключового регулятора ліпідного обміну. Це сприяє екскреції ліпопротеїнів з низькою щільністю у крові і відкладанню холестерину в судинах. Також трансжири вбудовуються в клітинну мембрану і таким чином порушують роботу клітин (Lin та ін., 2005).

Мікробіом і його вплив на здоров'я людини. Про те, що в організмі людини живуть мікроорганізми, багато з яких можуть бути корисними для здоров'я, відомо давно. Однак в останні роки, завдяки впровадженню в біологію і медицину прогресивних молекулярно-генетичних методів досліджень, наука зробила величезний крок у напрямку вивчення цього унікального внутрішнього світу тіла людини, яка отримала назву *мікробіом*.

У 2008 р. був запущений Міжнародний науковий проект «Мікробіом людини». Протягом п'яти років вчені з 80 науково-дослідних інститутів США працювали над вивченням складу мікробіома людини і його ролі в підтримці здоров'я. Результати цих досліджень, опубліковані в найбільш авторитетних наукових виданнях світу, виявилися настільки вражаючими, що мікробіом стали розглядати як додатковий життєво необхідний орган людини (Sender, Fuchs, & Milo, 2016).

Виявилось, що в тілі людини мешкає понад 10 тис. видів мікроорганізмів (бактерій, архей, вірусів, грибів, найпростіших). Загальна кількість клітин мікроорганізмів, які виявляються в людини, становить кілька сотень трильйонів, тоді як число клітин всіх тканин його організму — близько 10 трильйонів, тобто тільки 10% клітин належать тілу людини, а 90% — мікробам. Біомаса мікроорганізмів, які

симбіотично співіснують з людиною, досягає від 1% до 3,5% маси її тіла. Тож мікробіом є одним з найбільш великих органів людини.

Вражаюче, але в генетичному апараті людини мікробних генів у кілька сотень разів більше, ніж, власне, людських. За рахунок своїх ферментних систем мікроби допомагають людині перетравлювати їжу, забезпечують її організм вітамінами, протизапальними та іншими корисними сполуками, які не можуть синтезуватись без допомоги мікробів. Вони захищають організм від патогенних мікроорганізмів і шкідливих впливів зовнішнього середовища, знешкоджують харчові та мікробні токсини, ксенобіотики, радіонукліди, мутагени, канцерогени, продукують широкий спектр біологічно активних сполук, які впливають на гормональну, імунну та центральну нервову системи людини. В останні роки мікробіом почали називати другим мозком людини, оскільки переконливо доведено його вплив на настрій людини, її поведінку, апетит і на стан психічного здоров'я загалом (рис. 4).



Рис. 4. Екологічний мікробіом: холобіотом, геном господаря і мікробом (Rosenberg, & Zilber-Rosenberg, 2016)

Сьогодні дослідження мікробіому є одним з найактуальніших напрямків сучасної біомедицини і дієтотерапії. З кожним днем з'являється все більше знань в цій галузі. Зокрема, величезний науковий резонанс викликали дослідження, які довели, що процес формування мікробіому починається ще в утробі матері.

Ці результати повністю зруйнували вкорінену парадигму щодо стерильності плоду аж до моменту народження. Тобто дитина народжується з уже наявним у неї мікробним органом, який далі дозріває разом з іншими органами її тіла (мозком, травною та імунною системами тощо). Тому дуже важливим є створення оптимальних умов для нормального перебігу вагітності і формування здорового мікробіому немовляти, оскільки первинні порушення в цьому органі дуже швидко прогресують надалі та вкрай важко усуваються. Власні різноманітні мікробіоми виявлені і в органах людини, які раніше вважались стерильними: в придатках матки, грудних протоках, легенях, крові. Отже, в організмі людини практично відсутні зони, позбавлені не тільки непрямого, але й прямого впливу мікроорганізмів.

Виявилось, що кожна людина має унікальну мікробіоту, яка властива тільки їй. Доведено, що ряд симбіотичних бактерій передається у спадок. У геномі людини недавно виявлено понад 40 ділянок, які впливають на склад та кількісні характеристики мікробіому, що підтверджує важливість нормальної мікробіоти для повноцінного функціонування людського організму.

Як і будь-який інший орган людини, мікробіом може піддаватися впливу несприятливих факторів та втрачати свої корисні функції. На стан мікробіому впливає спосіб життя індивідуума, зокрема раціон і режим харчування, фізичні і психічні навантаження, професія, національні та регіональні традиції, екологія середовища, прийом медикаментозних засобів, а також безліч інших чинників. При несприятливому впливі цих факторів на мікробіом розвиваються його патологічні зміни, що називаються дисбіозами.

Захворювання мікробіому, чи дисбіози, небезпечні тим, що можуть спричинити патологічні зміни в будь-якому іншому органі людини, в тому числі в мозку. Встановлено, що зі зміною мікробіому пов'язані такі захворювання, як харчова алергія, астма, синдром подразненого кишечника, діабет другого типу, ожиріння та інші прояви метаболічного синдрому, автоімунні захворювання (ревматоїдний артрит, розсіяний склероз, псоріаз), захворювання кісткової тканини; гастроентерологічна, інфекційна, онкологічна і серцево-судинна патологія тощо. Навіть настрій людини, розвиток аутизму, депресії та шизофренії не обходяться без втручання зміненого мікробіому.

Підтримка здорового мікробіому так само важлива для кожної людини, як підтримання всіх інших органів і систем. Турбота кожної людини про власний мікробіом повинна включати комплекс заходів, що складаються з раціонального харчування, відмови від шкідливих звичок, адекватного використання медикаментозних препаратів та інших критеріїв здорового способу життя. Важливе місце в цьому комплексі має зайняти використання пробіотиків та інших засобів, які оздоровче впливають на мікробіом. Одним з ефективних підходів, перевірених клінікою, є використання трьохетапної системи оздоровлення, яка передбачає етап підготовки кишечника до дії оздоровчих мікроорганізмів за допомогою групи ентеросорбентів, етап відновлення фізіологічного мікробіому мультипробіотиками та етап закріплення пробіотичного ефекту функціональними продуктами.

Найбільш вивченим холобіонтом з усіх тварин є *Homo sapiens*. Топологічно людина є тор — тривимірний об'єкт з отвором посередині. Отвір, про який йдеться, є травним каналом. Майже вся поверхня цього тора є домом для бактерій, хоча в різних частинах мешкають різні мешканці. Безумовно, найбільше їх мешкає у нижніх відділах кишечника. Ці мікроби кишечника розширюють травні можливості людського холобіонта таким же чином (хоч і не такою мірою), як це відбувається у термітів, шляхом розщеплення волокнистих рослинних полімерів на дрібніші молекули, які інші клітини можуть метаболізувати. Але вони також виробляють безліч інших молекул, деякі з яких надсилають сигнали тваринним клітинам голобіонта. Ба більше, ці клітини часто подають сигнал у відповідь.

Ця передача сигналів особливо впливає на частини нервової системи. Серед молекул, які секретуються бактеріями кишечника, є серотонін, ГАМК (гама-аміномасляна кислота) та катехоламіни. Усі вони є нейротрансмітерами — хімічними речовинами, які передають імпульси між нервовими клітинами. Тож мікробіом

є невід'ємною частиною осі кишечник-мозок, постійною нейронною «балаканиною» між найбільшою групою нервових клітин в організмі (центральна нервова система) та другою за розміром (ентеральна нервова система).

Третя важлива взаємодія між господарем і мікробіомом пов'язана з імунною системою. Це сприяє «укладенню угоди», яка підтримує весь процес, запобігаючи «бунту» будь-якої конкретної частини мікробіома — завдання, принаймні, таке ж важливе, як і боротьба з інфекційними захворюваннями. У свою чергу, добре збалансований мікробіом допомагає імунній системі шляхом запобігання розмноженню патогенних мікроорганізмів у кишечнику.

Отже, кишковий мікробіом глибоко інтегрований з частиною холобіонту людини, ссавців, що можна побачити, коли ця інтеграція йде не так. Дисбіоз, як відомо, принаймні пов'язаний, в багатьох випадках, імовірно, сприяє виникненню ожиріння, діабету, високого кров'яного тиску, атеросклерозу, астми, запальних захворювань кишечника, деяких захворювань печінки, різних видів раку, аутизму, хвороби Паркінсона та депресії. І це не вичерпний перелік.

Наприклад, дієта, яка базується в основному на рослинах, сприяє розвитку фібролітичних бактерій, тоді як дієта, багата м'ясом, сприяє тим, які харчуються жирами та білками. Як наслідок, рослинні дієти містять такі молекули, як масляна та пропіонова кислоти, які, як відомо, регулюють запалення та інші функції імунної системи. Продукти на основі м'яса призводять до утворення жирних кислот з розгалуженим ланцюгом, а також фенолів та індолів, які мають низку шкідливих наслідків, у тому числі фактори ризику погіршення стану серцево-судинної системи.

Така екосистемна інженерія — «холобійне мислення» у великому масштабі. Чи приведе це до чогось плідного, ще невідомо. Але сам факт того, що це взагалі відбувається, безсумнівно, є свідченням ідеї, час якої настав.

Хологеномна (від *hologenome*) теорія еволюції представляє окрему тварину чи рослину (та інші багатоклітинні організми), як співтовариство чи «холобіонт» (*holobiont*) — господар плюс всі його симбіотичні мікроби. Отже, колективні геноми холобіонта утворюють «хологеном». Холобіонти та хологеноми — це структурні одиниці, які замінюють назви в контексті симбіозу мікробіоти та господаря, такі як суперорганізм (тобто інтегрована соціальна одиниця, що складається з родичів), орган і метагеном. Холобіонти — це сутності, що складаються з господаря та всіх його симбіотичних мікробів (рис. 4).

Фенотипи холобіонтів можуть змінюватися в часі та просторі, коли мікроби входять в організм і виходять із його холобіону. Мікроби в навколишньому середовищі є частиною холобіонта. Хологеноми охоплюють геноми господаря та всіх його мікробів у будь-який заданий момент часу. Холобіонти та хологеноми — це сутності, тоді як коеволуція чи еволюція взаємодій між господарем та симбіонтом — це процеси.

При цьому геном самої людини складає не більше 1%, а 99% генетичної інформації — це геном мікробіоти, яка співіснує з нами. Ба більше, геном тих мікроорганізмів швидко реагує на зміни навколишнього середовища і допомагає організму людини пристосуватися до змін навколишнього середовища.

Кожна людина існує в тісній взаємодії з різними мікроорганізмами, які її оточують та заселяють відповідні екологічні ніші на покриттях і всередині організму,

формуючи нормальну мікробіоту (або, як ми звикли її називати, нормальну мікрофлору).

Взагалі, мікробіотою прийнято називати сукупність усіх мікроорганізмів, які мешкають у багатоклітинному організмі (рослини, тварини чи людини). З точки зору таксономічного положення до таких мікроорганізмів відносять віруси, бактерії, археї, мікроскопічні гриби, найпростіші. Нині, найкраще вивченими представниками мікробіоти людини є саме бактерії (Sivamaruthi, Madhumita, Balamurugan, & Rajan, 2015).

Взаємодію мікроорганізмів з організмом «господаря» можна охарактеризувати поняттями «симбіоз» і «дисбіоз». Співіснування мікроорганізмів (симбіоз) надає їм можливість ефективно захищатися, розмножуватися та виживати. Симбіоз мікроорганізмів та організму «господаря» — це інший рівень оптимальної взаємодії.

Сьогодні мікробіоту вважають окремим потужним «метаболічним органом», який через унікальні молекулярні механізми впливає на функціонування різних органів і систем організму людини (рис. 5).



Рис. 5. Основні функції нормально кишкової мікробіоти людини

Мікробіота кишечника численна та спроможна надпотужно впливати на організм людини, тому вона задіяна і в підтриманні стану здоров'я людини, а також у розвитку патологічних станів імунної, нервової, ендокринної, травної, метаболічної систем, і так само в розвитку злоякісних новоутворень. Вплив мікробіоти може

бути як прямим (за рахунок власне самих бактерій та їх компонентів, які з'являються в кровообігу і прямо взаємодіють з клітинами віддалених органів і тканин), так і опосередкованим (за рахунок продукування бактеріями певних метаболітів, які залучені до складних біохімічних перетворень в організмі людини на системному рівні). Такі типи віддаленого впливу мікробіоти кишечника називають «осями» кишечник-головний мозок (gut-brain), кишечник-легені (gut-lung), кишечник-печінка (gut-liver). За своїм взаємним впливом вони нагадують гуморальну регуляцію. Сучасні дослідження спрямовані саме на з'ясування молекулярних механізмів такого впливу, зокрема різних аспектів біохімічної, імунологічної, нейрофізіологічної та функціональної відповіді організму людини на мікробні речовини на системному і клітинному рівнях.

Існують переконливі свідчення, що мікробіота також впливає на розвиток злоякісних новоутворень людини. Певні представники мікробіоти демонструють здатність як стимулювати розвиток новоутворень, так і виражену протипухлинну активність, зумовлену численними сигнальними механізмами із залученням імунної системи. Загалом, розвиток злоякісних новоутворень в організмі людини асоційований зі зміною композиції мікробіоти ураженого пухлинною органу, а також віддалених органів, що розглядають як можливий фактор моніторингу пухлинного процесу. Композиція мікробіоти також впливає на ефективність протипухлинної хіміо- та імунотерапії.

Стає очевидним, що формування комплексної «здорової» мікробіоти є запорукою забезпечення високої якості життя в будь-якому віці, і для цього вже накопичуються відповідні науково-обґрунтовані підходи. Великий практичний інтерес представляє тема можливості впливу на композицію мікробіоти з метою її корекції із застосуванням пробіотиків, пребіотиків, синбіотиків, метабіотиків, постбіотиків, також трансплантації кишкової мікробіоти та ретельного підбору індивідуального раціону харчування. Саме раціон харчування є «ключем» щодо впливу на мікробіоту. Змінюючи раціон харчування, можна реорганізувати композицію і метаболічну активність мікробіоти кишечника і в такий спосіб впливати на стан здоров'я, перебіг патологічних процесів та ефективність лікування людини (Munakata та ін., 2010).

Діти, сприятливі для кишечника, також стають все популярнішими, це пов'язано з впливом здорового мікробіома на загальний стан мозку. Наш мозок і травний тракт перебувають у постійному зв'язку один з одним. Фактично дані свідчать про те, що коли мікробіом взаємодіє з центральною нервовою системою, хімічні процеси в мозку регулюються і впливають на нейроендокринні системи, пов'язані з реакцією на стрес, тривогою і функцією пам'яті (Капрельянц, Пожіткова, Жук, & Білик, 2020). Експерти також сходяться на думці, що наш мозок не тільки «знає» про кишкові мікроби, ці бактерії також можуть впливати на наше сприйняття світу і змінювати нашу поведінку, припускаючи, що чим «здоровіша» наша їжа, тим кращий наш психічний стан.

Натепер існує широкий спектр біологічних препаратів і продуктів харчування, що застосовуються для відновлення нормальної мікробіоти кишечника: пробіотики — живі мікроорганізми, представники нормобіоти людини, які коригують мікробіоценоз кишечника шляхом перорального введення (фармацевтичні препарати, спеціальні продукти, біологічно активні добавки); пребіотики — препарати

немікробного походження, переважно олігосахариди, які при потраплянні в товсту кишку піддаються ферментації бактеріями з утворенням речовин, що сприяють розвитку облігатної мікробіоти (біфідобактерій, лактобацил та ін.); синбіотики — це комбінація пробіотиків з пребіотиками; препарати, що містять фізіологічно активні метаболіти пробіотичної мікробіоти; препарати, до складу яких входять інактивовані пробіотичні бактерії, які сприяють відновленню нормальної мікробіоти кишечника. Серед усіх груп препаратів, які застосовуються для корекції мікробіоти кишечника, особливе місце посідають пробіотики (Skowrońska, & Albrecht, 2012).

Отже, новітні наукові дані та ідеї щодо молекулярних механізмів взаємного впливу мікробіоти та макроорганізму людини потребують нового переосмислення та інтеграції в сучасне розуміння організму людини, як суперорганізму, заселеного тисячами видів мікробів, тісно пов'язаних одна з одною та макроорганізмом відповідними сигнальними шляхами та спільним метаболізмом.

Епоха індивідуальної медицини і омікс-технології. Закодована в геномі інформація перетворюється на структуру білків і згодом на певні ознаки організму, які можуть мати значення для діагностики та лікування захворювань. Інакше кажучи, оміксні технології є одним із головних інструментів геномної та постгеномної медицини.

Очікується, що з розвитком оміксних технологій лікар при постановці діагнозу та при визначенні тактики лікування насамперед спиратиметься на **«генетичний паспорт»** пацієнта. Оміксні технології є молодим напрямом і, звичайно, методи **геномної та постгеномної** медицини в стандартні протоколи лікування та діагностики поки не входять. Однак у цьому напрямі тривають масштабні розробки.

На відміну від досліджень одиничних генів, які вже стали традиційними в сучасній медицині, геномні дослідження охоплюватимуть особливості всього генотипу (сукупності генів) конкретного пацієнта. Очікується, що лікування та діагностика пацієнтів із застосуванням геномних методів будуть більш ефективними. Це пов'язано з тим, що більшість соціально значимих захворювань (атеросклероз, цукровий діабет, злоякісні пухлини) залежить від сукупного ефекту багатьох генів. Якщо говорити про постгеномну медицину, це ще один крок вперед, що дає змогу оцінити, як функціонує геном людини в конкретних умовах її життя.

Важливим напрямом прискорення діагностики захворювань є розширення біомаркерів певних захворювань. Біомаркер — це характеристика, яка об'єктивно вимірюється та оцінюється як показник нормальних біологічних процесів, патогенних процесів чи фармакологічних відповідей на терапевтичне втручання. Використовується для клінічної оцінки, такої як артеріальний тиск або рівень холестерину чи цукру тощо, а також для моніторингу та прогнозування стану здоров'я окремих осіб або груп населення.

Варто зазначити, що з розвитком «оміксних наук» накопичуються великі масиви складно організованих даних (метадані), що призводить до тісної взаємодії цієї категорії наук з біоінформатикою. Причому, на думку багатьох учасників впровадження «оміксних наук», біоінформатикам доцільно приєднуватися до експериментів у цій галузі вже на початковому етапі, щоб забезпечити якісну статистичну обробку отриманих даних.

Як було зазначено вище, «оміксні науки» незабаром стануть основою персоналізованої медицини, проте вже зараз накопичені дані можуть бути джерелом для пошуку нових та ефективних лікарських препаратів.

Крім того, на основі оміксних технологій створюються діагностичні системи. Наприклад, голландською компанією Аджендія вже була створена діагностична система MammaPrint (допомога ДНК-мікрочипа), призначена для оцінки ризику рецидиву раку молочної залози. Цей ДНК-тест схвалений FDA у США, а також у ЄС (Slodkowska, & Ross, 2009).

Персоналізоване харчування. Ще недавно вважалося, що продукти, які ми їмо — це лише джерело енергії та речовин, необхідних для побудови наших клітин. Сьогодні стає очевидним, що їхній вплив на наш організм набагато потужніший. Вони впливають на те, чи буде «проявлено» в нашому тілі інформацію, зашифровану в генах, чи заблоковано. Персоналізоване харчування (альтернативно зване прецизійним харчуванням) — це індивідуальні дієтичні рекомендації або рекомендації щодо харчування, засновані на поєднанні індивідуальних генетичних факторів, факторів навколишнього середовища та способу життя, включаючи харчові звички, стан здоров'я, фенотип, кишковий мікробіом та генотип, які фокусуються на пропаганді здорового способу життя (Derossi, Husain, Caporizzi, & Severini 2020).

Споживачі відходять від універсального підходу до досягнення своїх дієтичних цілей. Персоналізоване або точне харчування, в якому використовуються дієта та спосіб життя, а також індивідуальні біомаркери для розробки рекомендацій щодо здорового харчування, що більше підходять для людини, продовжує набирати популярності.

Світовий ринок персоналізованого харчування оцінювався в 14 млрд дол. США, а до 2030 р., за прогнозами, він досягне 37 млрд дол. США.

Декілька факторів визначають, наскільки персоналізована дієта. Оскільки різні форми персоналізованої оцінки стають все більш поширеними, ми можемо отримати більше інформації про себе, яку можна використовувати для налаштування нашого раціону для покращення здоров'я чи досягнення конкретних цілей. Чинниками, що сприяють цьому, є те, скільки ви займаєтеся спортом, скільки і що ви їсте, а також ваш вік. Але тепер ми також можемо визначити індивідуальну реакцію на певні харчові компоненти, і цю інформацію можна використовуватиме для більш індивідуального підходу.

Для корекції мікробіома та лікування дисбіозів використовують препарати пробіотиків. Пробіотики розрізняються за складом. Монокомпонентні препарати містять один штам бактерій певного виду (біфідобактерії, лактобактерії, ешерихії). До складу полікомпонентних пробіотиків входять кілька симбіотичних штамів бактерій (препарат «Лінекс») або різних видів із взаємозміцнюючою дією. Комплексні пробіотики містять кілька штамів бактерій різних видів (наприклад, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum*, *Enterococcus faecium*).

Найбільш збалансованою дією характеризуються комбіновані пробіотики (мультиштамові та багатовидові). Ефект багатовидових пробіотиків досягається завдяки синергізму різних видів мікроорганізмів, що входять до складу препарату. Саме тому їм віддають перевагу в клінічній практиці.

Ще одна тенденція, яку ми спостерігаємо, — це попит, який зростає на продукти харчування, орієнтовані на різні аспекти здоров'я. Споживачі стають більш обізнаними в питаннях харчування та, у свою чергу, більш активними в питаннях свого здоров'я, тому вони шукають способи покращити його за допомогою функціональних продуктів харчування — продуктів, які пропонують переваги, що виходять за межі простої харчової цінності (Karelyants, Yegorova, Trufkati, & Pozhitkova, 2019). Багаті поживними речовинами фрукти, овочі, горіхи, насіння та цільнозернові продукти вважаються природними функціональними продуктами, але функціональними продуктами також можуть бути ті, які збагачені поживними речовинами додатково, такими як вітаміни, мінерали, фітонутрієнти, пробіотики або харчові волокна (Karelyants, Pozhitkova, & Vuzhylov, 2019).

Наприклад, сьогоднішні споживачі шукають продукти, які допомагають вирішити проблеми як фізичного так і психічного здоров'я. До них можна віднести трав'яні чаї, вони мають чудовий смак, а також можуть проявляти заспокійливу дію та сприяти покращенню якості сну. Колаген — дуже популярний інгредієнт, який входить до багатьох функціональних продуктів харчування і, як відомо, підтримує здоров'я кісток, а також покращує зовнішній вигляд волосся, шкіри та нігтів.

Серед епігенетичних факторів найважливіша роль належить також харчуванню. В останні десятиліття було проведено багато досліджень, які показали, що харчування впливає не лише на наші власні гени, а й відбивається на здоров'ї наших нащадків. Переїдання та голодування, надлишок одних продуктів та дефіцит інших — все це залишає «зарубки» на нашому «генетичному дереві».

Епігенетичні аспекти впливу харчування ще вивчатимуться, проте вже не викликає сумнівів той факт, що за допомогою грамотно сформованого раціону ми можемо протистояти багатьом хворобам, у тому числі діабету, раку, ожирінню, гіпертонії та хворобі Альцгеймера, причому не тільки в себе, а й у своїх нащадків.

Вчені звертають увагу на те, що дефіцит фолієвої кислоти, вітаміну B₁₂ (який характерний для вегетаріанців) під час вагітності призводить до порушення процесів метилювання. У зв'язку з цим на різних етапах розвитку ембріона можуть виникати порушення, які можуть проявитися не тільки в цієї дитини, але і у її дітей, онуків і правнуків.

На активацію і придушення роботи генів впливає як присутність харчування, так і його відсутність — голод. Голод, перенесений плодом на ранніх термінах вагітності, вдвічі підвищує ризик розвитку психічного захворювання. Вчені пояснили це порушеннями гормонального регулювання, що виникли під впливом внутрішньоутробного голоду.

У ході цілої серії досліджень вчені встановили, що перенесений внутрішньоутробний голод у дорослому віці суттєво підвищував ризик розвитку ожиріння, артеріальної гіпертензії, цукрового діабету.

Отже, харчування — це потужний важіль управління здоров'ям, причому під його вплив потрапляємо не лише ми самі, а й майбутнє покоління.

Висновки

Незважаючи на те, що поки не накопичено достатнього обсягу достовірних даних для впровадження омікс-платформ у повсякденну практику дієтолога, вже

з'являються компанії, які пропонують використання внутрішньогенетичних та інших тестів у клініці. Надалі встановлення молекулярних механізмів взаємодії «їжа-гени» та виявлення специфічних ранніх маркерів порушень клітинного метаболізму дасть змогу здійснювати оптимальне превентивне лікування хворої людини на ранніх стадіях.

Епігенетичні аспекти впливу харчування ще будуть вивчатися, проте вже не викликає сумнівів той факт, що за допомогою грамотно сформованого раціону ми можемо протистояти багатьом хворобам цивілізації.

Отже, накопичені в літературі дані вже сьогодні дають змогу провести більш поглиблений розгляд питань сучасних молекулярних аспектів проблеми харчування та здоров'я, а також фундаментальних і прикладних особливостей нутрієнто-метаболическої профілактики й терапії поширених захворювань на основі використання омікс-платформ для вирішення завдань молекулярної нутрієнтології — високотехнологічної та наукоємної дисципліни персоналізованої дієтології та медицини.

Література

Капрельянц, Л. В., Пожиткова, Л. Г., Жук, О. В., Білик, О. А. (2020). Функціональні продукти: генезис, сучасний стан і тенденції. *Харчова промисловість*, 7—20. doi: 10.24263/2225-2916-2020-27-3.

Омельчук, С., Велика, Н., Залеський, В. (2017). Молекулярно-генетичні механізми дії компонентів їжі: потенціал використання нутрігенетики, нутрігеноміки та інших постгеномних омікс-технологічних платформ в практиці дієтолога. *Проблеми харчування*, 1, 45—55.

Hinojosa-Nogueira, D., Ortiz-Viso, B., Navajas-Porras, B., Pérez-Burillo, S., González-Vigil, V., de la Cueva, S. P., Rufián-Henares, J. Á. (2023). Stance4Health Nutritional APP: A Path to Personalized Smart Nutrition. *Nutrients*. Jan 5;15(2):276. doi: 10.3390/nu15020276.

Pflughoeft, K. J., Versalovic, J. (2012). Human microbiome in health and disease. *Annu Rev Pathol*, 7, 99—122. doi: 10.1146/annurev-pathol-011811-132421.

Shenderov, V. A. (2011). Probiotics and Functional Foods. In Food Engineering, Encycloedia of Life Support Systems (EOLSS). Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK. [http://www.eolss.net].

Капрельянц, Л. В. (2015). *Пребиотики*. Київ: Enterprint.

Saxelin, M., Tynkynen, S., Mattila-Sandholm, T., de Vos, W. M. (2005). Probiotic and other functional microbes: from markets to mechanisms. *Curr Opin Biotechnol*, 16(2), 204—11. doi: 10.1016/j.copbio.2005.02.003.

Schnackenberg, L. K., Beger, R. D. (2006). Monitoring the health to disease continuum with global metabolic profiling and systems biology. *Pharmacogenomics*, 7(7), 1077—86. doi: 10.2217/14622416.7.7.1077.

Collins, C. D., Purohit, S., Podolsky, R. H., Zhao, H. S., Schatz, D., Eckenrode, S. E., Yang, P., Hopkins, D., Muir, A., Hoffman, M., McIndoe, R. A., Rewers, M., She, J. X. (2006). The application of genomic and proteomic technologies in predictive, preventive and personalized medicine. *Vascul Pharmacol*, 45(5), 258—67. doi: 10.1016/j.vph.2006.08.003.

Simon, C., Daniel, R. (2011). Metagenomic analyses: past and future trends. *Appl Environ Microbiol*, 77(4), 1153—61. doi: 10.1128/AEM.02345-10.

German, J. B., Zivkovic, A. M., Dallas, D. C., Smilowitz, J. T. (2011). Nutrigenomics and personalized diets: What will they mean for food? *Annu Rev Food Sci Technol.*, 2, 97—123. doi: 10.1146/annurev.food.102308.124147.

Visioli, F., Marangoni, F., Poli, A., Ghiselli, A., Martini, D. (2022). Nutrition and health or nutrients and health? *Int J Food Sci Nutr.*, 73(2), 141—148. doi: 10.1080/09637486.2021.1937958.

Norheim, F., Gjelstad, I. M., Hjorth, M., Vinknes, K. J., Langleite, T. M., Holen, T., Jensen, J., Dalen, K. T., Karlsen, A. S., Kielland, A., Rustan, A. C., Drevon, C. A. (2012). Molecular nutrition research: the modern way of performing nutritional science. *Nutrients*, 4(12), 1898—944. doi: 10.3390/nu4121898.

Müller, M., Kersten, S. (20030). Nutrigenomics: goals and strategies. *Nat Rev Genet*, 4(4), 315—22. doi: 10.1038/nrg1047.

Fenech, M., El-Sohemy, A., Cahill, L., Ferguson, L. R., French, T. A., Tai, E. S., Milner, J., Koh, W. P., Xie, L., Zucker, M., Buckley, M., Cosgrove, L., Lockett, T., Fung, K. Y., Head, R. (2011). Nutrigenetics and nutrigenomics: viewpoints on the current status and applications in nutrition research and practice. *J. Nutrigenet Nutrigenomics*, 4(2), 69—89. doi: 10.1159/000327772.

Meaburn, E., Schulz, R. (2012). Next generation sequencing in epigenetics: insights and challenges. *Semin Cell Dev Biol.*, 23(2), 192—9. doi: 10.1016/j.semcdb.2011.10.010.

Myzak, M. C., Dashwood, R. H. (2006). Histone deacetylases as targets for dietary cancer preventive agents: lessons learned with butyrate, diallyl disulfide, and sulforaphane. *Curr Drug Targets*, 7(4), 443—52. doi: 10.2174/138945006776359467.

Fenech, M. (2005). The Genome Health Clinic and Genome Health Nutrigenomics concepts: diagnosis and nutritional treatment of genome and epigenome damage on an individual basis. *Mutagenesis*, 20(4), 255—69. doi: 10.1093/mutage/gei040.

Waterland, R. A., Jirtle, R. L. (2003). Transposable elements: targets for early nutritional effects on epigenetic gene regulation. *Mol Cell Biol.*, 23(15): 5293—300. doi: 10.1128/MCB.23.15.5293-5300.2003.

Relton, C. L., Hartwig, F. P. (2015). Davey Smith G. From stem cells to the law courts: DNA methylation, the forensic epigenome and the possibility of a biosocial archive. *Int J Epidemiol*, 44(4), 1083—93. doi: 10.1093/ije/dyv198.

Scholl, T. O., Johnson, W. G. (2000). Folic acid: influence on the outcome of pregnancy. *Am J Clin Nutr.*, 71(5 Suppl), 1295S—303S. doi: 10.1093/ajcn/71.5.1295s.

Stegers-Theunissen, R. P., Obermann-Borst, S. A., Kremer, D., Lindemans, J., Siebel, C., Steegers, E. A., Slagboom, P. E., Heijmans, B. T. (2009). Periconceptional maternal folic acid use of 400 microg per day is related to increased methylation of the IGF2 gene in the very young child. *PLoS One*, 16, 4(11): e7845. doi: 10.1371/journal.pone.0007845.

Efeyan, A., Comb, W. C., Sabatini, D. M. (2015). Nutrient-sensing mechanisms and pathways. *Nature*, 15, 517(7534): 302—10. doi: 10.1038/nature14190.

Fenech, M., El-Sohemy, A., Cahill, L., Ferguson, L. R., French, T. A., Tai, E. S., Milner, J., Koh, W. P., Xie, L., Zucker, M., Buckley, M., Cosgrove, L., Lockett, T., Fung, K. Y., Head, R. (2011). Nutrigenetics and nutrigenomics: viewpoints on the current status and applications in nutrition research and practice. *J Nutrigenet Nutrigenomics*, 4(2), 69—89. doi: 10.1159/000327772.

Mangelsdorf, D. J., Thummel, C., Beato, M., Herrlich, P., Schütz, G., Umesono, K., Blumberg, B., Kastner, P., Mark, M., Chambon, P., Evans, R. M. (1995). The nuclear receptor superfamily: the second decade. *Cell*, 83(6), 835—9. doi: 10.1016/0092-8674(95)90199-x.

Francis, G. A., Fayard, E., Picard, F., Auwerx, J. Nuclear receptors and the control of metabolism (2003). *Annu Rev Physiol.*, 65, 261—311. doi: 10.1146/annurev.physiol.65.092101.142528.

Linzer, N., Trumbull, A., Nar, R., Gibbons, M. D., Yu, D. T., Strouboulis, J., Bungert, J. (2021). Regulation of RNA Polymerase II Transcription Initiation and Elongation by Transcription Factor TFII-I. *Front Mol Biosci*, 8, 681550. doi: 10.3389/fmolb.2021.681550.

Mishra, U. N., Jena, D., Sahu, C., Devi, R., Kumar, R., Jena, R., Irondi, E. A., Rout, S., Tiwari, R. K., Lal, M. K. et al. (2022). Nutrigenomics: An inimitable interaction amid genomics, nutrition and health. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82. doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103196.

Hudlikar, R., Wang, L., Wu, R., Li, S., Peter, R., Shannar, A., Chou, P. J., Liu, X., Liu, Z., Kuo, H. D., Kong, A. N. (2021). Epigenetics/Epigenomics and Prevention of Early Stages of Cancer by Isothiocyanates. *Cancer Prev Res (Phila)*, 14(2), 151—164. doi: 10.1158/1940-6207.CAPR-20-0217.

Hubers, N., Hagenbeek, F. A., Pool, R., Déjean, S., Harms, A. C., Roetman, P. J., van Beijsterveldt, C. E. M., Fanos, V., Ehli, E. A., Vermeiren, R. R. J. M., Bartels, M., Hottenga, J. J., Hankemeier, T., van Dongen, J., Boomsma, D. I. (2023). Integrative multi-omics analysis of genomic, epigenomic, and

metabolomics data leads to new insights for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Am J Med Genet B Neuropsychiatr Genet.*, 3, e32955. doi: 10.1002/ajmg.b.32955.

Jabeen, A., Malik, G., Mir, J. Iq., Rasool, R. (2023). Nutrigenomics: linking food to genome. *Italian Journal of Food Science*, 35(1), 26—40. doi:10.15586/ijfs.v35i1.2262.

Pagiatakis, C., Musolino, E., Gornati, R., Bernardini, G., Papait, R. (2021). Epigenetics of aging and disease: a brief overview. *Aging Clin Exp Res.* 33(4): 737—745. doi: 10.1007/s40520-019-01430-0.

La Torre, A., Lo Vecchio, F., Greco, A. (2023). Epigenetic Mechanisms of Aging and Aging-Associated Diseases. *Cells.* 12(8): 1163. doi: 10.3390/cells12081163.

De Souza, R. G. M., Schincaglia, R. M., Pimentel, G. D., Mota, J. F. (2017). Nuts and Human Health Outcomes: A Systematic Review. *Nutrients.* 9(12): 1311. doi: 10.3390/nu9121311.

Ferguson, R. (2014). Lynnette Nutrigenomics and nutrigenetics in functional foods and personalized nutrition. Boca Raton, FL: Taylor & Francis/CRC PresI, p. 383.

Cornelis, M. C., El-Sohehy, A. (2007). Coffee, caffeine, and coronary heart disease. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* Nov; (106): 745—51. doi: 10.1097/MCO.0b013e3282f05d81.

Levine, M. E., Suarez, J. A., Brandhorst, S., Balasubramanian, P., Cheng, C. W., Madia, F., Fontana, L., Mirisola, M. G., Guevara-Aguirre, J., Wan, J., Passarino, G., Kennedy, B. K., Wei, M., Cohen, P., Cimmmins, E. M., Longo, V. D. (2014). Low protein intake is associated with a major reduction in IGF-1, cancer, and overall mortality in the 65 and younger but not older population. *Cell Metab.* Mar 4; 19(3): 407—17. doi: 10.1016/j.cmet.2014.02.006.

Ordovas, J. M., Corella, D. (2004). Nutritional genomics. *Annu Rev Genomics Hum Genet.* 5:71—118. doi: 10.1146/annurev.genom.5.061903.180008.

Kara, N., Fitzgerald, Hodges, R., Hanes, D., Stack, E., Cheishvili, D., Szyf, M., Henkel, J., Twedt, M. W. et al. (2021). Potential reversal of epigenetic age using a diet and lifestyle intervention: a pilot randomized clinical trial. 13(7): pp. 9419—9432 doi:10.18632/aging.202913.

Divella, R., Daniele, A., Savino, E., Paradiso, A. (2020). Anticancer Effects of Nutraceuticals in the Mediterranean Diet: An Epigenetic Diet Model. *Cancer Genomics Proteomics.* Jul-Aug; 17(4): 335—350. doi: 10.21873/cgp.20193.

Neeha, V. S., Kinth, P. (2013). Nutrigenomics research: a review. *J Food Sci Technol.* Jun; 50(3): 415—28. doi: 10.1007/s13197-012-0775-z.

Garg, R., Sharma, N., Jain, S. K. (2022). Nutrigenomics and Nutrigenetics: Concepts and Applications in Nutrition Research and Practice. *Acta Medica International.* 1(2): 124—130. doi: 10.5530/ami.2014.2.17.

Levine, M. E., Suarez, J. A., Brandhorst, S., Balasubramanian, P., Cheng, C. W., Madia, F., Fontana, L., Mirisola, M. G., Guevara-Aguirre, J., Wan, J., Passarino, G., Kennedy, B. K., Wei, M., Cohen, P., Cimmmins, E. M., Longo, V. D. (2014). Low protein intake is associated with a major reduction in IGF-1, cancer, and overall mortality in the 65 and younger but not older population. *Cell Metab.* Mar 4; 19(3): 407—17. doi: 10.1016/j.cmet.2014.02.006.

Solon-Biet, S. M., Mitchell, S. J., de Cabo, R., Raubenheimer, D., Le Couteur D. G., Simpson, S. J. (2015). Macronutrients and caloric intake in health and longevity. *J Endocrinol.* Jul; 226(1): R17—28. doi: 10.1530/JOE-15-0173.

Verburgh, K. (2015). Nutrigerontology: why we need a new scientific discipline to develop diets and guidelines to reduce the risk of aging-related diseases. *Aging Cell.* Feb; 14(1): 17—24. doi: 10.1111/accel.12284.

Gupta, E., Shyam, H., Devi, S., Maurya, N. K. (2020). Nutrigenomics in Functional Foods and Personalized Nutrition. *Gedrag & Organisatie* 33(2): 670—686 doi:10.37896/GOR33.02/075.

Hosomi, R., Fukunaga, K., Arai, H., Kanda, S., Nishiyama, T., Yoshida, M. (2013). Effect of combination of dietary fish protein and fish oil on lipid metabolism in rats. *J Food Sci Technol.* Apr; 50(2): 266—74. doi: 10.1007/s13197-011-0343-y.

Davidson, L. A., Nguyen, D. V., Hokanson, R. M., Callaway, E. S., Isett, R. B., Turner, N. D., Dougherty, E. R., Wang, N., Lupton, J. R., Carroll, R. J., Chapkin, R. S. (2004). Chemopreventive n-3 polyunsaturated fatty acids reprogram genetic signatures during colon cancer initiation and progression in the rat. *Cancer Res.* Sep 15; 64(18): 6797—804. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-04-1068. PMID: 15374999.

- Tall, A. R., Yvan-Charvet, L. (2015). Cholesterol, inflammation and innate immunity. *Nat Rev Immunol.* Feb; 15(2): 104—16. doi: 10.1038/nri3793.
- Dhaka, V., Gulia, N., Ahlawat, K. S., Khatkar, B. S. (2011). Trans fats-sources, health risks and alternative approach — A review. *J Food Sci Technol.* Oct; 48(5): 534—41. doi: 10.1007/s13197-010-0225-8.
- Lin, J., Yang, R., Tarr, P. T., Wu, P. H., Handschin, C., Li, S., Yang, W., Pei, L., Uldry, M., Ton-tonoz, P., Newgard, C. B., Spiegelman, B. M. (2005). Hyperlipidemic effects of dietary saturated fats mediated through PGC-1beta coactivation of SREBP. *Cell.* Jan 28; 120(2): 261—73. doi: 10.1016/j.cell.2004.11.043.
- Sender, R., Fuchs, S., Milo, R. (2016). Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body. *PLoS Biol.* Aug 19; 14(8): e1002533. doi: 10.1371/journal.pbio.1002533.
- Rosenberg, E. (2016). Zilber-Rosenberg Interaction between the Microbiome and Diet: The Hologenome. *Concept J Nutr Food Sci.*, Vol. 6: 5 doi: 10.4172/2155-9600.1000545.
- Sivamaruthi, B. S., Madhumita, R., Balamurugan, K., Rajan, K. E. (2015). Cronobacter sakazakii infection alters serotonin transporter and improved fear memory retention in the rat. *Front Pharmacol.* Sep 4; 6: 188. doi: 10.3389/fphar.2015.00188.
- Munakata, S., Arakawa, C., Kohira, R., Fujita, Y., Fuchigami, T., Mugishima, H. (2010). A case of D-lactic acid encephalopathy associated with use of probiotics. *Brain Dev.* Sep; 32(8): 691—4. doi: 10.1016/j.braindev.2009.09.024.
- Skowrońska, M., Albrecht, J. (2012). Alterations of blood brain barrier function in hyperammonemia: an overview. *Neurotox Res.* Feb; 21(2): 236—44. doi: 10.1007/s12640-011-9269-4.
- Slodkowska, E. A., Ross, J. S. (2009). MammaPrint 70-gene signature: another milestone in personalized medical care for breast cancer patients. *Expert Rev Mol Diagn.* Jul; 9(5): 417—22. doi: 10.1586/erm.09.32.
- Derossi, A., Husain, A., Caporizzi, R., Severini, C. (2020). Manufacturing personalized food for people uniqueness. An overview from traditional to emerging technologies. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 60(7): 1141—1159. doi: 10.1080/10408398.2018.1559796.
- Levine, M. E., Suarez, J. A., Brandhorst, S., Balasubramanian, P., Cheng, C. W., Madia, F., Fontana, L., Mirisola, M. G., Guevara-Aguirre, J., Wan, J., Passarino, G., Kennedy, B. K., Wei, M., Cohen, P., Crimmins, E. M., Longo, V. D. (2014). Low protein intake is associated with a major reduction in IGF-1, cancer, and overall mortality in the 65 and younger but not older population. *Cell Metab.* Mar 4; 19(3): 407—17. doi: 10.1016/j.cmet.2014.02.006. PMID: 24606898.
- Kaprelyants, L., Yegorova, A., Trufkati, L., Pozhitkova, L. (2019). Functional foods: prospects in Ukraine. *Food Science and Technology.* V. 13. № 2. C. 15—23.
- Kaprelyants, L., Pozhitkova, L., Buzhylov, M. (2019). Application of co-bioprocessing techniques enzymatic hydrolysis and fermentation) for improving the nutritional value of wheat bran as food functional ingredients. *Eurika: Life Sciences.* №. 5. C. 31—45.

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 роздружків на папері формату А4 (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 англomовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

9. 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 таблиці кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

10. 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.

11. 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).

12. 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.

13. 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 (nphuht@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