



---

---

**2023**

---

# НАУКОВІ ПРАЦІ

## НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Том 29 № 5**

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

**КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2023**

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

#### **Editorial office address:**

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

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 4 from 30th of November, 2023

© NUFT, 2023

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

#### **Адреса редакції:**

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

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій. Протокол № 4 від 30 листопада 2023 року

© НУХТ, 2023

## Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

**Головний редактор**

**Editor-in-Chief**

**Олександр Шевченко**

**Oleksandr Shevchenko**

д-р техн. наук, проф., Україна

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

**Відповідальний секретар**

**Accountable secretary**

**Анастасія Шевченко**

**Anastasiia Shevchenko**

канд. техн. наук, доц., Україна

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

## Члени редакційної колегії:

**Агота Гедре Райшене**

**Agota Giedre Raisiene**

д-р екон. наук, Литва

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

**Атанаска Тенева**

**Atanaska Teneva**

д-р екон. наук, доц., Болгарія

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

**Анатолій Зайнчковський**

**Anatoly Zainchkovskiy**

д-р екон. наук, проф., Україна

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

**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 Кишененько**

**Vasyl Kyshenko**

канд. техн. наук, проф., Україна

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

**Василь Пасічний**

**Vasyl Pasichnyi**

д-р техн. наук, проф., Україна

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

**В'ячеслав Івашук**

**Vyacheslav Ivashchuk**

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

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

## ЗМІСТ

### Біотехнології

П'ятецька Д. В., Пирог Т. П. Вплив екзометаболітів *Nocardia vaccinii* IMB B-7405, *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 і *Rhodococcus erythropolis* IMB As-5017 на врожайність томатів, перців та ячменю

Скροцька О. І., Марченко В. В. Біосинтез наночастинок благородних металів. Частина 3. Можливості використання рослин

### Механічна та електрична інженерія

Булій Ю. В., Кут А. М., Форсюк А. В., Запорожець Ю. В. Підвищення експлуатаційних характеристик брагоректифікаційних установок шляхом оптимізації роботи теплообмінного обладнання

Володін С. О., Токарчук С. В., Мирончук В. Г., Масло М. А. Дослідження динаміки запірно-регулювальних пристроїв з позиційними електропневматичними системами керування

Гавва О. О., Кривопляс-Володіна Л. О. Обґрунтування режимів роботи адаптронних функціональних модулів дозування рідкої продукції ваговим способом

### Харчові технології

Михонік Л. А., Кирічок Т. О., Гетьман І. А., Науменко О. В. Покращення якості пшенично-житнього хліба з використанням продуктів переробки круп'яних культур

Дацишин К. Є., Юкало В. Г., Семенишин Г. М. Розроблення технології ферментованого сироваткового напою

Євлаш В. В., Газзаві-Рогозіна Л. В., Пілюгіна І. С., Фалько О. В., Чижевський В. В. Вплив флавоноїду кверцетину на мікроорганізми свіжовиловленої риби та вміст аміно-аміачного азоту при гіпотермічному зберіганні

Загорулко О. Є., Загорулко А. М., Михайлов В. М., Касабова К. Р. Удосконалення способу виготовлення функціонального напівфабрикату і кексів на його основі

Махінко Л. В., Ковбаса В. М. Дослідження використання пряно-ароматичної сировини у виробництві продуктів високотемпературної коекструзії та її впливу на процес зберігання

## CONTENTS

### Biotechnologies

7 Piatetska D., Pirog T. Influence of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405, *Acinetobacter Calcoaceticus* IMV B-7241 and *Rhodococcus erythropolis* IMV As-5017 exometabolites on the harvest of tomato, pepper and barley

21 Skrotska O., Marchenko V. Biosynthesis of noble metal nanoparticles. Part 3. Possibilities of using plants

### Mechanical and Electrical Engineering

46 Bulii Y., Kuts A., Forsiuk A., Zaporozhets Y. Improving the performance characteristics of distillation equipment by optimizing the operation of heat-exchange equipment

57 Volodin S., Tokarchuk S., Myronchuk V., Maslo M. Study of the dynamics of shut-off and control devices with positional electropneumatic control systems

66 Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Substantiation of operating modes of adaptronic functional modules for dosing liquid products by weight

### Food Technologies

77 Mykhonik L., Kyrichok T., Hetman I., Naumenko O. Improvement of wheat and rye products quality with the use of cereal crops processing products

89 Datsyshyn K., Yukalo V., Semenyshyn G. Development of the fermented whey beverage technology

99 Yevlash V., Gazzavi-Rogozina L., Piliugina I., Falco O., Chizhevskiy V. Influence of the flavonoid quercetin on the microorganisms of freshly fish and the content of amino-ammonium nitrogen during hypothermal storage

111 Zagorulko O., Zahorulko A., Mykhaylov V., Kasabova K. Improvement of the manufacturing method of functional semi-finished product and cupcakes based on it

122 Makhynko L., Kovbasa V. Study of the using of spicy-aromatic raw materials in production of high-temperature coextrusion products and their influence on the process of storage

- 
- Носенко Т. Т., Жупанова Д. О.* Інтенсифікація ферментативного дегумінгу соняшникової олії ультразвуковою обробкою 114 *Nosenko T., Zhupanova D.* Intensification of sunflower oil enzymatic degumming by ultrasound treatment
- Сімахіна Г. О., Кочубей-Литвиненко О. В.* Комбінована ресурсоефективна технологія заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів 143 *Simakhina G., Kochubey-Lytvynenko O.* The combined resource-effective technology of frozen berry half products
- Шевченко А. О.* Вплив концентрату гарбузового протеїну в поєднанні з фосфоліпідами на якість і харчову цінність пшеничного хліба 157 *Shevchenko A.* The effect of pumpkin protein concentrate in combination with phospholipids on the quality and nutritional value of wheat bread
- Капрелянц Л. В., Пожіткова Л. Г., Велічко Т. О., Охотська М. І., Білик О. А.* Сучасні тренди в омїкс-біотехнологіях — від геноміки до персоналізованих дієт. Частина 1 166 *Kaprelyants L., Pozhikova L., Velichko O., Ochotska M., Bilyk O.* Modern trends in omics-biotechnologies — from nutrigenomics to personalized diets. Part 1

**INFLUENCE OF *NOCARDIA VACCINII* IMV B-7405, *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMV B-7241 AND *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS* IMV AS-5017 EXOMETABOLITES ON THE HARVEST OF TOMATO, PEPPER AND BARLEY**

D. Piatetska<sup>1</sup>, T. Pirog<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>National University of Food Technologies

<sup>2</sup>Institute of Microbiology and Virology of NASU

**Key words:**

*Phytohormones*  
*Biosynthesis*  
*Complex microbial preparations*  
*Plant productivity*

**Article history:**

Received 16.10.2023  
Received in revised form 30.10.2023  
Accepted 10.11.2023

**Corresponding author:**

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

**Citation:** П'ятецька Д. В., Пирог Т. П. (2023). Вплив екзометаболітів *Nocardia vaccinii* IMB B-7405, *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 і *Rhodococcus erythropolis* IMB AC-5017 на врожайність томатів, перців та ячменю. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 7—20. DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-3

**ABSTRACT**

In recent years, there has been increasing interest in integrated microbial technologies, which make it possible to obtain several practically important metabolites in one technological process. It was previously established that *Nocardia vaccinii* IMV B-7405, *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 and *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 synthesize surface-active substances with antimicrobial activity against phytopathogenic bacteria and a complex of stimulating phytohormones on various substrates (including industrial waste).

In this study, it was found that the treatment of tomatoes, peppers and barley with supernatant and phytohormonal extracts of *N. vaccinii* IMV B-7405, *A. calcoaceticus* IMV B-7241 and *R. erythropolis* IMV Ac-5017 was accompanied by stimulation of plant growth and development. In the case of barley seeds treatment with 30-fold diluted supernatants of the culture liquid of IMV B-7405, IMV B-7241 and IMV Ac-5017 strains, the harvest increased by 59, 69 and 83%, respectively, compared to treatment of seeds with water. After treatment of the root system of tomato seedlings with phytohormonal extracts of *N. vaccinii* IMV B-7405 (dilution 1:10000), *A. calcoaceticus* IMV B-7241 (dilution 1:3000) and *R. erythropolis* IMV Ac-5017 (dilution 1:1000) an increase in the total weight of vegetables by 70, 145 and 77%, respectively was observed, compared to water treatment. When treating the root system of pepper seedlings with solutions of phytohormonal extracts of the same concentration, the harvest was 12—77% higher than after treatment with water. The positive effect of extracellular metabolites synthesized by *N. vaccinii* IMV B-7405, *A. calcoaceticus* IMV B-7241 and *R. erythropolis* IMV Ac-5017 on the harvest of agricultural plants is the basis for the development of an integrated technology for the production of microbial preparations with growth-stimulating properties and antimicrobial against phytopathogens activity for use in crop production.

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2023-29-5-3

## **ВПЛИВ ЕКЗОМЕТАБОЛІТІВ *NOCARDIA VACCINII* IMB B-7405, *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMB B-7241 І *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS* IMB AC-5017 НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТОМАТІВ, ПЕРЦІВ ТА ЯЧМЕНЮ**

Д. В. П'ятецька<sup>1</sup>, Т. П. Пирог<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій

<sup>2</sup>Інститут мікробіології і вірусології НАНУ

Останніми роками збільшується інтерес до інтегрованих мікробних технологій, які дають змогу отримати кілька практично важливих метаболітів в одному технологічному процесі. Раніше було встановлено, що *Nocardia vaccinii* IMB B-7405, *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 та *Rhodococcus erythropolis* IMB Ac-5017 синтезують на різних субстратах (у тому числі й промислових відходах) поверхнево-активні речовини з антимікробною щодо фітопатогенних бактерій активністю і комплекс фітогормонів стимулювальної дії.

У цьому дослідженні встановлено, що обробка томатів, перцю та ячменю супернатантом і фітогормональними екстрактами *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 і *R. erythropolis* IMB Ac-5017 супроводжувалася стимуляцією росту та розвитку рослин. У разі обробки насіння ячменю розведеними у 30 разів супернатантами культуральної рідини штамів IMB B-7405, IMB B-7241 і IMB Ac-5017 врожай збільшувався на 59, 69 та 83% відповідно порівняно з обробкою насіння водою. Після обробки кореневої системи розсади томатів фітогормональними екстрактами *N. vaccinii* IMB B-7405 (розведення 1:10000), *A. calcoaceticus* IMB B-7241 (розведення 1:3000) і *R. erythropolis* IMB Ac-5017 (розведення 1:1000) спостерігали збільшення сумарної ваги плодів на 70, 145 і 77% відповідно порівняно з обробкою водою. За обробки кореневої системи розсади перцю розчинами фітогормональних екстрактів аналогічної концентрації загальна маса плодів була на 12—77% вищою, ніж після обробки водою. Позитивний вплив на врожайність сільськогосподарських рослин позаклітинних метаболітів, синтезованих *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017, є основою для створення інтегрованої технології одержання мікробних препаратів з ріст-стимулювальною та антимікробною щодо фітопатогенів активністю з метою застосування в рослинництві.

**Ключові слова:** фітогормони, біосинтез, комплексні мікробні препарати, врожайність рослин.

**Постановка проблеми.** Протягом останнього десятиліття більшість аграрно-орієнтованих досліджень були спрямовані на вивчення ризосферних мікроорганізмів. Асоціація рослин з мікроорганізмами, які не пригнічують або навіть стимулюють їх розвиток, привертає увагу науковців не тільки як об'єкт дослідження з урахуванням основ взаємодії різних організмів, але й через їх можливе використання в практиці екологічного виробництва сільськогосподарської продукції.

Зараз відомо про велику кількість препаратів для боротьби з фітопатогенними

грибами, на відміну від препаратів проти фітопатогенних бактерій. Раніше було встановлено, що поверхнево-активним речовинам (ПАР) штамів *Nocardia vaccinii* IMB B-7405, *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 та *Rhodococcus erythropolis* IMB Ac-5017 притаманний широкий спектр антиадгезивної та антимікробної активності, у тому числі й щодо фітопатогенних бактерій (Pirog, Konon, Sofilkanych & Iutinskaya, 2013a).

На сучасному етапі все більшого застосування знаходять інтегровані технології, у яких один продуцент використовується для одержання кількох цільових продуктів (Карпенко, 2015; Пирог та ін., 2019; Raajaraam & Raman, 2022). Можливості застосування поліпрепаратів, що містять комплекс метаболітів з різними властивостями, є ширшими порівняно з монопрепаратами, як і їх собівартість.

У попередніх дослідженнях було встановлено, що крім ПАР, *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 також утворюють комплекс фітогормонів (ауксини, цитокініни і гібереліни) (Pirog та ін., 2018). Таким чином, ці штами можуть бути використані як продуценти при розробці інтегрованих технологій з метою використання в сільському господарстві для стимуляції росту рослин і контролю чисельності фітопатогенних бактерій.

Промислове виробництво мікробних ПАР стримується високими витратами на біосинтез. Тому особливої уваги заслуговують інтегровані біотехнології, які базуються на використанні як субстратів дешевих і наявних у великій кількості промислових відходів (відходи виробництва біодизелю та агропромислового комплексу, відпрацьована олія тощо). Крім збереження довкілля в результаті утилізації відходів, підвищується й ефективність таких біотехнологій завдяки низькій собівартості кількох цільових продуктів (Пирог та ін., 2019; Raajaraam, & Raman, 2022).

У попередніх дослідженнях (Pirog, Sofilkanych, Konon, & Shevchuk, 2013b; Pirog та ін., 2018; Pirog, Stabnikov, & Stabnikova, 2023) було встановлено здатність *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 синтезувати ПАР та фітогормони не тільки на традиційних субстратах, а й на відходах (відпрацьована олія). Здатність штамів до одночасного синтезу поверхнево-активних речовин і фітогормонів на різних субстратах дає змогу розглядати їх як перспективні для розробки безвідходної технології одержання комплексних мікробних препаратів для рослинництва.

Зважаючи на наведене вище, **мета статті** полягає в тому, щоб дослідити вплив екзометаболітів *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на ріст і врожайність томатів, перців і ячменю.

**Матеріали і методи.** Із забруднених нафтою зразків ґрунту були виділені штами нафтоокиснювальних бактерій, ідентифіковані як *Nocardia vaccinii* К-8, *Acinetobacter calcoaceticus* К-4 і *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1. Штами К-8, К-4 і ЕК-1 зареєстровані у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного Національної академії наук України за номерами IMB B-7405, IMB B-7241 і IMB Ac-5017 відповідно.

Для культивування *N. vaccinii* IMB B-7405 використовували рідке середовище такого складу (г/л):  $\text{NaNO}_3$  — 0,5;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 0,1;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,01; дріжджовий автолізат — 0,5% (об'ємна частка).

Штам *A. calcoaceticus* IMB B-7241 культивували у середовищі (г/л):  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  — 0,35;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{NaCl}$  — 1,0;  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  — 0,6;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 0,14; pH 6,8—7,0. У середовище додатково вносили дріжджовий автолізат — 0,5% (об'ємна частка) і розчин мікроелементів — 0,1% (об'ємна частка). Розчин мікроелементів містив (г/100 мл):  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 1,1;  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  — 0,6;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — 0,004;  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,03;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  — 0,006;  $\text{KI}$  — 0,0001; ЕДТА (трилон Б) — 0,5.

Штам *R. erythropolis* IMB Ac-5017 вирощували в середовищі такого складу (г/л):  $\text{NaNO}_3$  — 1,3;  $\text{NaCl}$  — 1,0;  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  — 0,6;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 0,14;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,001; pH 6,8—7,0.

Як джерело вуглецю використовували рафіновану та відпрацьовану після смаження м'яса соняшникову олію (мережа ресторанів McDonald's, Київ, Україна) Концентрація субстратів становила 2% (об'ємна частка).

Як інокулят використовували культури в експоненційній фазі росту, вирощені на середовищах наведеного вище складу, що містили 0,5% (об'ємна частка) відповідного субстрату. Кількість посівного матеріалу ( $10^{-4}$ — $10^{-5}$  кл/мл) становила 5—10% від об'єму поживного середовища. Культивування бактерій здійснювали в колбах об'ємом 750 мл зі 100 мл середовища на качалці (320 об/хв) при 28—30 °C протягом 7 діб.

Після завершення культивування штамів *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 біомасу відділяли центрифугуванням (5000 об/хв, 25 хв). Видалення залишкової соняшникової олії з культуральної рідини здійснювали шляхом триразової екстракції її петролейним ефіром (співвідношення 1:1).

З одержаного супернатанту культуральної рідини отримували фітогормональні екстракти. Гіберелінові й ауксинові екстракти одержували шляхом триразової екстракції етилацетатом (співвідношення 1:1) при pH 2,5, а цитокінінові — екстрагуванням бутанолом (співвідношення 1:1) при pH 8,0. Екстракти випарювали досуха під вакуумом. Сухий залишок повторно розчиняли у 80-відсотковому етанолі. Отримані екстракти зберігали за температури -24 °C. В подальшому використовували їх для проведення вегетаційних дослідів.

Веgetаційні експерименти проводили в теплиці та на веgetаційному майданчику Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України.

**Веgetаційні досліді в теплиці.** Експерименти проводили в теплицях у період з квітня по вересень. Як тест-культури використовували томати сорту Чикаго та Груша, а також перці сорту Ротунда. Врожай збирали у період з липня по вересень. Перед посадкою у ґрунт кореневу систему розсади томатів протягом години витримували у розведених в 2 і 3 рази супернатантах культуральної рідини (КР), отриманої після культивування *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на рафінованій олії, а також у розчинах фітогормональних екстрактів: *N. vaccinii* IMB B-7405 (розведення 1:5000 та 1:10000), *A. calcoaceticus* IMB B-7241 (1:3000 та 1:5000). Кореневу систему розсади перців протягом двох годин витримували у розчинах фітогормональних екстрактів: *R. erythropolis* IMB Ac-5017 (розведення 1:1000 та 1:2000), *N. vaccinii* IMB B-7405 (розведення 1:10000), *A. calcoaceticus* IMB B-7241 (розведення 1:3000).

Як позитивний контроль до експериментів з використанням супернатантів культуральної рідини використовували розсаду, витриману протягом години в розчинах екстрактів фітогормонів (розведення 1:1000), одержаних в аналогічних умовах культивування. Як негативний контроль використовували розсаду, витриману протягом години у водопровідній воді. У кожному варіанті було по шість рослин. У процесі експерименту аналізували кількість плодів та їх масу.

**Вегетаційні досліді на вегетаційному майданчику.** Експерименти проводили в літній період (3 місяці) з використанням насіння пивоварного ячменю сорт. Врожай збирали у вересні. Перед посівом насіння протягом двох годин витримували у розведених в 10 і 20 разів супернатантах культуральної рідини, одержаних після вирощування *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. Erythropolis* IMB Ac-5017 на відпрацьованій олії. Як позитивний контроль використовували насіння, витримане протягом двох годин у розчинах екстрактів фітогормонів (розведення 1:1000), одержаних в аналогічних умовах культивування. Як негативний контроль використовували насіння, витримане протягом години у дистильованій воді. У процесі експерименту аналізували вагу очищеного насіння та визначали приріст врожаю відносно контролю (обробка насіння водою).

Усі досліді повторювали тричі, кількість паралельних вимірювань у кожному досліді становила 3—5. Статистичну обробку експериментальних даних проводили як описано у наших попередніх роботах (Pirog, Konon, Sofilkanych, & Iutinskaya, 2013a; Pirog, Sofilkanych, Konon, & Shevchuk, 2013b). Відмінності середніх показників вважали достовірними на рівні значущості  $p < 0,05$ .

**Викладення основних результатів дослідження.** Вибір субстратів (рафінована та відпрацьована після смаження м'яса соняшникова олія) для вирощування *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 з метою вивчення екзометаболітів цих бактерій на сільськогосподарські культури був зумовлений тим, що, по-перше, за умов росту на рафінованій олії штамп *N. vaccinii* IMB B-7405 синтезував найвищу кількість фітогормонів (1124,36 мкг/л) (Pirog та ін., 2018). По-друге, під час культивування на відпрацьованій олії концентрація фітогормонів, синтезованих усіма штамми, була практично однаковою і перебувала в межах 124—135 мкг/л. По-третє, відпрацьована олія є токсичним відходом, викиди якої в Україні не регламентуються, а використання її як субстрату дасть змогу одночасно утилізувати небезпечні відходи та знизити собівартість комплексного мікробного препарату для рослинництва.

**Синтез фітогормонів штамами *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017.** У табл. 1 наведено дані щодо утворення фітогормонів під час культивування *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на рафінованій і відпрацьованій олії. Ці дані необхідні для визначення ступеня розведення супернатанту культуральної рідини до оптимальної за фітогормонами концентрації з метою максимальної стимуляції врожайності рослин.

**Урожайність пивоварного ячменю за обробки екзометаболітами штамів *IMB B-7405*, *IMB B-7241* та *IMB Ac-5017*.** Експерименти показали, що обробка насіння ячменю екзометаболітами *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 супроводжувалася стимуляцією росту ячменю та збільшенням його врожайності (табл. 2).

**Таблиця 1. Синтез фітогормонів *N. vaccinii* ІМВ В-7405, *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 та *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017**

Штам	Ауксини, мкг/л	Гіббереліни, мкг/л	Цитокініни, мкг/л	Сумарна концентрація, мкг/л
Субстрат — рафінована олія				
<i>N. vaccinii</i> ІМВ В-7405	770,4	5,96	348,0	1124,36
<i>A. calcoaceticus</i> ІМВ В-7241	39,6	8,0	75,1	122,7
<i>R. erythropolis</i> ІМВ Ас-5017	19,4	7,8	17,1	44,3
Субстрат — відпрацьована олія				
<i>N. vaccinii</i> ІМВ В-7405	23,3	46,8	53,9	124,0
<i>A. calcoaceticus</i> ІМВ В-7241	83,2	9,5	43,6	136,3
<i>R. erythropolis</i> ІМВ Ас-5017	91,3	5,8	37,8	134,9

**Таблиця 2. Показники урожайності ячменю за обробки екзометаболітами *N. vaccinii* ІМВ В-7405, *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 та *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017**

Штам-продуцент	Варіант обробки	Вага насіння, г	Збільшення врожаю, % до контролю
<i>N. vaccinii</i> ІМВ В-7405	Супернатант КР (1:1)	331	42
	Супернатант КР (1:2)	371	59
	Екстракт фітогормонів (1:1000)	370	58
<i>A. calcoaceticus</i> ІМВ В-7241	Супернатант КР (1:1)	394	68
	Супернатант КР (1:2)	396	69
	Екстракт фітогормонів (1:1000)	345	47
<i>R. erythropolis</i> ІМВ Ас-5017	Супернатант КР (1:1)	312	33
	Супернатант КР (1:2)	429	83
	Екстракт фітогормонів (1:1000)	381	63

**Примітка.** Вага насіння в контрольному варіанті (обробка насіння ячменю водою) становила 234 г. КР — культуральна рідина.

Найвищий (83 %) приріст врожаю досягався за обробки насіння ячменю розведеним у 20 разів супернатантом штаму *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017. Незалежно від розведення супернатанту *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 спостерігали однакове збільшення врожаю ячменю (68—69%). Менш ефективним виявився супернатант *N. vaccinii* ІМВ В-7405: максимальне підвищення врожайності ячменю становило 58%.

Оскільки концентрація фітогормонів, синтезованих *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241, *N. vaccinii* ІМВ В-7405 та *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 на відпрацьованій олії є практично однаковою (див. табл. 1), однаковий приріст врожаю ячменю незалежно

від розведення супернатанту штаму ІМВ В-7241 (на відміну від супернатанту штамів Ас-5017 і ІМВ В-7405, див. табл. 2) можна пояснити тим, що цей штам утворює й інші метаболіти, що позитивно впливають на ріст ячменю.

Літературні дані підтверджують збільшення врожайності злакових культур під дією ризобактерій (PGPR-бактерії — plant growth promoting rhizobacteria) та синтезованих ними фітогормонів.

Так, передпосівна інокуляція насіння кукурудзи та пшениці штамми *Azospirillum brasilense* супроводжувалася підвищенням врожайності на 27 та 31% відповідно (Hungria та ін., 2010). У праці (Khalid, Arshad, & Zahir, 2004) було ізольовано, проте не ідентифіковано, кілька штамів ризобактерій та показано, що вони синтезують ауксини у значних кількостях (5,1—12,1 мг/л). Завдяки передпосівній обробці насіння пшениці врожай збільшився на 15—27,5%.

Підвищення на 9—24% врожайності рису спостерігали в разі обробки насіння PGPR-бактеріями *Gluconacetobacter diazotrophicus* LMG7603, *Herbaspirillum seropedicae* LMG6513, *Azospirillum lipoferum* 4B LMG4348 та *Burkholderia vietnamiensis* LMG10929, які синтезують фітогормони ауксинової природи (індоліл-оцтову кислоту, ІОК) (Govindarajan, Balandreau, & Lakshminarasimhan, 2008). Інші дослідники (Chouya та ін., 2020) встановили, що виділений з ризосфери вівса штам *Streptomyces roseocinereus* MS1B15 утворював 6,34 мг/л ІОК, а інокуляція насіння суспензією штаму сприяла збільшенню довжини пагона на 20, ваги вівса — на 6%.

Інокуляція насіння ячменю ендofітним галотолератним штамом *Pseudomonas flavescens* D5 (Ignatova та ін., 2022), ізольованим з цикорію (*Cichorium intybus* L.), в умовах сольового стресу сприяла збільшенню маси пагона рослин ячменю до 30, а маси кореня — до 20%. Встановлено, що штам D5 продукував 45,2 мг/л ІОК на середовищі з 15% NaCl. У дослідженні (Mahmoud та ін., 2020) також встановлено здатність ризобактерій *Bacillus mojavensis* S1, *Bacillus pumilus* S2 та *Pseudomonas fluorescens* S3, які за наявності 200 мМ NaCl утворювали 9,0—48,2 мг/мл ІОК, індукувати захист ячменю від сольового стресу.

Після інокуляції насіння ячменю ізольованим з його ризосфери штамом *P. fluorescens* B2-10, здатним до синтезу ІОК, висота рослин збільшувалася на 10, довжина колоса — на 30, вага 1000 зернят — на 14, а кількість зернят на колосі — на 14,6% (Azadikhah, Jamali, & Bayat, 2019).

Встановлені вищі показники приросту врожаю ячменю у наших дослідженнях (див. табл. 2) можуть бути пояснені не лише дією фітогормонів, а й поверхнево-активних речовин, що містяться у супернатанті культуральної рідини. Так, дослідниками (Карпенко, 2015) було показано, що передпосівна обробка насіння злакових, бобових, олійних культур комплексами мікробних ПАР (позаклітинних рамноліпідів і полісахаридів *Pseudomonas* sp. PS-17, клітинно-зв'язаних трегалозоліпідів, жирних кислот і каротиноїдів та позаклітинного ліпоамінополісахаридного комплексу *Gordonia rubripertincta* УКМ Ас-122) сприяла підвищенню енергії проростання насіння, ростових, біохімічних показників рослин, врожайності. Встановлено, що рамноліпідний комплекс (0,01—0,05 г/л) є ефективним регулятором росту злакових культур, зокрема, ячменю, жита, а також пшениці. За передпосівної обробки насіння пшениці розчином рамноліпідного біокомплексу ве-

гетативна маса рослин підвищувалася на 16,0—35,0% відносно контролю. У (Карпенко, 2015) зазначається, що позитивний вплив ПАР на рослини пов'язаний, імовірно, з підвищенням проникності клітинних мембран, що сприяє біодоступності поживних та інших екзогенних речовин, а також з активуванням метаболічних процесів ґрунтової мікробіоти. Крім того, застосування комплексів мікробних ПАР спільно з індоліл-3-оцтовою кислотою сприяло підвищенню активності цього фітогормону. Аналогічний вплив ПАР на ІОК визначено і в біотесті на ризогенез живців квасолі. Результати свідчать про можливість зменшення робочої дози ІОК у 2—4 рази у композиціях з ПАР (Карпенко, 2015).

Отже, літературні дані підтверджують, що обробка насіння злакових культур ріст-стимулюючими бактеріями сприяє підвищенню врожайності. Причому серед проаналізованих нами джерел найбільший приріст урожаю зерна становив 31%, у той час як в нашому дослідженні було одержано приріст 33—83%. Це свідчить про значний вплив екзометаболітів *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на ріст і розвиток ячменю.

**Врожайність томатів за обробки екзометаболітами штамів IMB B-7405, IMB B-7241 та IMB Ac-5017.** Експерименти показали, що обробка розсади томатів сорту Чикаго екзометаболітами штамів *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 перед висадкою у ґрунт стимулювала ріст розсади, збільшувала кількість сформованих квіток і прискорювала утворення та дозрівання плодів (табл. 3).

**Таблиця 3. Вплив позаклітинних метаболітів *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на врожайність томатів сорту Чикаго**

Штам-продуцент	Варіант обробки	Кількість плодів, шт.	Сумарна вага плодів, г
<i>N. vaccinii</i> IMB B-7405	Супернатант КР (1:1)	10	673
	Супернатант КР (1:2)	14	834
	Екстракт фітогормонів (1:1000)	12	647
<i>A. calcoaceticus</i> IMB B-7241	Супернатант КР (1:1)	21	971
	Супернатант КР (1:2)	18	858
	Екстракт фітогормонів (1:1000)	15	611
<i>R. erythropolis</i> IMB Ac-5017	Супернатант КР (1:1)	18	987
	Супернатант КР (1:2)	25	1226
	Екстракт фітогормонів (1:1000)	33	2069

**Примітка.** Сумарна вага плодів у контрольному варіанті (обробка кореневої системи томатів водою) становила 1167 г, а кількість плодів — 15 шт. КР — культуральна рідина.

Обробка розсади томатів розведеним у 2 і 3 рази супернатантом, а також екстрактом фітогормонів штаму *R. erythropolis* IMB Ac-5017 супроводжувалася збільшенням кількості плодів на 12, 56 і 106% відповідно порівняно з обробкою водою. Зазначимо, що урожайність томатів в кінці вегетації у варіанті з обробкою екстрактом фітогормонів перевищила контроль на 77%.

Що стосується екзометаболітів штаму *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241, то за обробки супернатантом, розведеним у 2 і 3 рази, вага плодів знижувалася, проте їх кількість перевищувала таку в контрольному варіанті на 20 і 40% відповідно. Обробка екзометаболітами штаму *N. vaccinii* ІМВ В-7405 не спричиняла стимулювальної дії на врожайність рослин томатів (див. табл. 3).

Різні результати впливу екзометаболітів трьох досліджуваних штамів на врожайність томатів (див. табл. 3) може бути зумовлена різною концентрацією фітогормонів, синтезованих *N. vaccinii* ІМВ В-7405, *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 та *R. Erythropolis* ІМВ Ас-5017 на рафінованій олії (див. табл. 1). Штам *N. vaccinii* ІМВ В-7405 синтезує майже в 10 разів більше фітогормонів, ніж *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 та в 25 разів більше, ніж *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017. Відомо, що фітогормони у високих концентраціях спричиняють пригнічувальну дію на рослини, а не стимулювальну (Pirog та ін., 2018). Оскільки розведення супернатантів культуральної рідини всіх трьох штамів під час обробки томатів були однаковими, то концентрація фітогормонів в них відрізнялася на порядки, а оптимальною для стимуляції росту і збільшення врожайності рослин виявилася концентрація екзометаболітів *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017.

Тому на наступному етапі з метою визначення ефективної концентрації фітогормонів обробку кореневої системи томатів проводили розбавленими розчинами фітогормональних екстрактів штамів ІМВ В-7405 та ІМВ В-7241 (табл. 4).

**Таблиця 4. Показники урожайності томатів сорту Груша за обробки фітогормональними екстрактами *N. vaccinii* ІМВ В-7405 та *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241**

Штам-продуцент	Розведення фітогормонального екстракту	Кількість плодів, шт.	Сумарна вага плодів, г
<i>N. vaccinii</i> ІМВ В-7405	1:5000	19	481
	1:10000	25	705
<i>A. calcoaceticus</i> ІМВ В-7241	1:3000	41	1054
	1:5000	28	701

**Примітка.** Сумарна вага плодів у контрольному варіанті (обробка кореневої системи розсади томатів водою) становила 428 г, а кількість плодів — 17 штук.

Експерименти показали, що обробка розсади томатів сорту Груша екзометаболітами штамів *N. vaccinii* ІМВ В-7405 та *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 перед висадкою в ґрунт супроводжувалася стимуляцією росту розсади, прискоренням дозрівання плодів та збільшення їх кількості і ваги (табл. 4).

Залежно від ступеня розведення фітогормональних екстрактів загальна вага плодів, зібраних з оброблених рослин, була на 11—145% вищою, ніж у контрольному варіанті (табл. 4). Найбільший приріст врожайності (64 і 145%) спостерігався в разі обробки рослин розчинами фітогормональних екстрактів *N. vaccinii* ІМВ В-7405 (розведення 1:10000) та *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 — (розведення 1:3000) відповідно.

Одержані результати можуть бути використані в подальшому для підбору оптимального розведення фітогормонвмісних супернатантів культуральної рідини продуцентів ПАР при використанні їх у рослинництві для стимуляції росту сільськогосподарських рослин.

У літературі наявні дані щодо впливу PGPR-бактерій на врожайність рослин. Так, у праці (Gravel, Antoun, & Tweddell, 2007) повідомляється про те, що передпосівна інокуляція насіння томатів різними штамми бактерій роду *Pseudomonas* супроводжувалася підвищенням ваги плодів на 9—14% порівняно з обробкою дистильованою водою.

Babu із співавт. (Babu, Jogaiah, & Tran, 2015) було продемонстровано позитивний вплив обробки п'ятьма неідентифікованими штамми PGPR-бактерій, здатними до синтезу ІОК, на врожайність томатів: вага плодів перевищувала контроль на 51,3—116,0%. Крім того, автори відмітили більш раннє утворення квіток на оброблених бактеріями рослинах. Зазначимо, що такий самий ефект спостерігали і ми під час дослідження впливу екзометаболітів *N. vaccinii* ІМВ В-7405 на томати.

Прикоренева обробка томатів суспензією *Streptomyces thermocarboxyodus* BPSAC147 після висадки пророщеного насіння в ґрунт супроводжувалася збільшенням довжини пагона і кореня рослин на 6 і 43,5% відповідно порівняно з необробленими рослинами (Passari, Upadhyaya, & Singh, 2019).

У праці (Almaghrabi, Massoud, & Abdelmoneim, 2013) показано, що передпосівна обробка томатів штамми ризобактерій *Pseudomonas putida*, *P. fluorescens*, *Serratia marcescens*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* та *Bacillus cereus* підвищувала вагу стебла, висоту рослин та їх врожай. Так, після обробки штамом *S. marcescens* кількість плодів підвищувалася на 6 шт/рослину, а їх сумарна вага — на 180,3 г.

Ahirwar із співавт. (Ahirwar, Gupta, & Ramana, 2015) встановили, що обробка насіння томатів культуральною рідиною ізольованого з їх ризосфери штаму *P. fluorescens*, SS5, здатного до синтезу ІОК, дала змогу збільшити кількість плодів на 57, а загальну вагу томатів на 28% порівняно з контролем.

У праці (Riyanti, Susilowati, & Listanto, 2019) встановлено, що *Pseudomonas fragi*, який продукував до 14,77 мг/л ІОК, сприяв підвищенню врожайності томатів: кількість плодів на оброблених рослинах була майже в 5 разів більшою, ніж на необроблених, а висота рослин збільшилася на 7%.

Goudjal із співавт. (Goudjal та ін., 2014) продемонстрували, що після обробки насіння томатів супернатантом *Streptomyces* sp. CA-2, що містив 50 мкг/мл ІОК, довжина коренів і стебла рослин через 14 днів була в 1,4 і 1,2 раза більшою, ніж у необроблених томатів.

Після витримування кореневої системи саджанців шпинату, салату й томатів в культуральній рідині ризобактерій *Pseudomonas* S2 та *Pseudomonas* S4 суха маса пагонів збільшувалася на 48—74% порівняно з контрольним варіантом без обробки (Hsu, & Micallef, 2017).

Завдяки обробці рослин томатів ізолятом *Bacillus* sp. ЗМК13, виділеним з ризосфери цих рослин, вага пагона підвищувалася у 4, а довжина — у 2,3 раза. (Shah, Amagesan, & Krishnamurthy, 2020). Автори встановили, що штам ЗМК13 продукує ІОК на рівні від 10,28 до 25,81 мкг/мл.

Дослідниками (Passari та ін., 2016) з ризосфери томату (*Solanum lycopersicum*) було виділено ендofітний штам *Streptomyces* sp. DBT20, який виявляв антифунгальну активність щодо фітопатогенних грибів родів *Fusarium*, *Aspergillus* і *Colletotrichum*. Після прикореневої обробки томатів і перцю чилі суспензією штаму

DBT20 довжина кореня та пагона підвищувалися на 12—33% порівняно з необробленими рослинами. Автори встановили, що антагоністична активність *Streptomyces* sp. DBT20 щодо фітопатогенних грибів забезпечується синтезом антибіотиків, у той час як антимікробна активність досліджуваних нами штамів *A. calcoaceticus* IMB B-7241, *N. vaccinii* IMB B-7405 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 (причому не тільки антифунгальна, а й антибактеріальна) зумовлена наявністю комплексу поверхнево-активних речовин, механізм дії яких, на відміну від антибіотиків, не викликає резистентності патогенних мікроорганізмів.

У праці (Parasuraman та ін., 2020) встановлено, що виділені з ризосфери баклажану та чилі штами *Pseudomonas aeruginosa* JB та JC підвищували схожість та індекс життєздатності насіння відповідних рослин порівняно з варіантом без обробки. Крім того, ці штами характеризувалися антимікробною щодо *Fusarium oxysporum* та *Alternaria solani* активністю.

Отже, дослідження (Passari та ін., 2016; Parasuraman та ін., 2020) підтверджують актуальність інтегрованих мікробних технологій, спрямованих на досягнення двох цілей: підвищення врожайності та захист рослин від фітопатогенних грибів. Проте зазначимо, що досліджувані штами мають суттєву перевагу перед описаними в (Passari та ін., 2016; Parasuraman та ін., 2020), оскільки характеризуються антимікробною активністю не тільки щодо фітопатогенних грибів, а й фітопатогенних бактерій (Pirog, Konon, Sofilkanich, & Iutinskaya, 2013a).

**Врожайність перців за обробки екзометаболітами штамів IMB B-7405, IMB B-7241 та IMB Ac-5017.** Як другу тест-культуру було обрано перці сорту Ротунда, які, так само, як і томати, належать до сімейства Пасльонових. В експериментах досліджували вплив на врожайність рослин оптимальної для кожного штаму концентрації фітогормонів, визначеної на основі попередніх досліджень з обробки томатів (табл. 3 і табл. 4).

Встановлено, що в усіх варіантах обробки кореневої системи розсади перцю фітогормональними екстрактами досліджуваних штамів прискорювалося цвітіння та дозрівання плодів, а також збільшувалася їхня кількість або маса порівняно з обробкою водою (табл. 5).

**Таблиця 5. Вплив фітогормональних екстрактів *N. vaccinii* IMB B-7405, *A. calcoaceticus* IMB B-7241 та *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на врожайність перців**

Штам-продуцент	Розведення фітогормонального екстракту	Кількість плодів, шт.	Сумарна вага плодів, г
<i>R. erythropolis</i> IMB Ac-5017	1:1000	10	288
	1:2000	8	263
<i>N. vaccinii</i> IMB B-7405	1:10000	10	457
<i>A. calcoaceticus</i> IMB B-7241	1:3000	12	406

**Примітка.** Сумарна вага плодів у контрольному варіанті (обробка кореневої системи розсади перцю водою) становила 258 г, а кількість плодів — 8 штук.

Дані, наведені в табл. 5, показують, що обробка рослин екзометаболітами *N. vaccinii* IMB B-7405 (розведення 1:10000) та *A. calcoaceticus* IMB B-7241 (розведення 1:3000) найкраще стимулювала ріст і розвиток перців: кількість плодів і

загальна вага перевищувала контроль на 25—50% і 77—57% відповідно. Ці результати збігаються з одержаними в експериментах з томатами, що свідчить про те, що така концентрація фітогормонів є оптимальною для стимуляції росту рослин.

У літературі є приклади позитивного впливу на розвиток перцю як виділених з його ризосфери бактерій, так і неасоційованих з рослиною.

За обробки перцю культуральною рідиною *Methylobacterium populi* Gen-B2 вага пагона збільшувалася у 5 разів, а його висота — в 1,6 раза порівняно з обробкою неінокульованим середовищем (Yang, Shi, & Lu, 2022). Штам було виділено з ризосфери цукрової тростини та визначено, що він здатний до синтезу ІОК (6,46 мг/л).

У (Samaddar, Chatterjee, & Sa, 2019) показано, що ко-інокуляція перцю штамми *Pseudomonas frederiksbergensis* OB139 та *Pseudomonas vancouverensis* OB155 сприяла збільшенню довжини пагона на 16—23% порівняно з необробленими рослинами. Також збільшилися суха вага рослин і довжина кореня. Дослідники пояснюють це здатністю штамів до утворення ІОК, сидерофорів, саліцилової кислоти, здатності до сольобілізації фосфатів.

Ізолят з ризосфери перцю, *Serratia nematodiphila* PEJ1011, утворює ГК<sub>4</sub> у кількості 8650 нг/л (Kang, Khan, & Joo, 2015). Інокуляція штамом PEJ1011 рослин перцю підвищувала довжину кореня та стебла на 55,8 та 12,9% відповідно.

Штами *B. cereus* MJ-1, *Bacillus macroides* CJ-29 і *B. pumilus* CJ-69, ізольовані з ризосфери червоного перцю, сприяли збільшенню висоти рослин на 11—14, а їх ваги — на 21—30% порівняно з контролем (Joo, Kim, & Rhee, 2004). Автори зазначають, що ці штамми утворюють біологічно активні гібереліни ГК<sub>1</sub>, ГК<sub>3</sub>, ГК<sub>4</sub> і ГК<sub>7</sub> у концентрації 17—87 нг/л, і стимуляція росту рослин зумовлена синтезом саме гіберелінів, оскільки в культуральній рідині досліджуваних штамів не виявлені інші фітогормони.

У доступній літературі нам не вдалося знайти інформації про стимулювальний ефект здатних до синтезу фітогормонів бактерій на кількість і вагу перців, у зв'язку з чим неможливо провести порівняння одержаних даних щодо впливу екзометаболітів *N. vaccinii* ІМВ В-7405, *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 і *R. Erythropolis* ІМВ Ас-5017 на врожайність цих рослин. Водночас очевидним є зв'язок між обробкою перців бактеріями, які утворюють позаклітинні фітогормони, і стимуляцією росту та розвитку рослин, що узгоджується з нашими експериментальними даними.

## Висновки

Одержані раніше (Pirog, Konon, Sofilkanich, & Iutinskaya, 2013a; Pirog, Sofilkanich, Konon, & Shevchuk, 2013b; Pirog та ін., 2018; Пирог та ін., 2019) і наведені у цій статті результати є основою для розробки інтегрованої безвідходної технології з використанням штамів *N. vaccinii* ІМВ В-7405, *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 і *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017, що дасть змогу отримати в одному процесі комплексні мікробні препарати з різноманітними біологічними властивостями. Так, при одержанні препаратів ПАР осаджені клітини можуть бути використані для очищення води від нафти; отриманий супернатант культуральної рідини може бути

використаний у двох напрямках: для подальшого виділення ПАР з антиадгезивними і антимікробними (зокрема й щодо фітопатогенних бактерій) властивостями, або як препарат для використання в сільському господарстві з метою стимуляції росту рослин (завдяки наявності фітогормонів ауксинової, цитокінінової і гібереллової природи) та контролю чисельності фітопатогенів (завдяки наявності ПАР).

## Література

- Карпенко, О. В. (2015). *Наукові засади створення біотехнологій поверхнево-активних речовин з поліфункціональними властивостями* (Дис. д-ра техн. наук). Національний університет харчових технологій, Київ. <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/20251>.
- Пирог, Т. П., Ключка, Л. В., Клименко, Н. О., Шевчук, Т. А., Іутинська, Г. О. (2019). Інтегровані технології мікробного синтезу кількох цільових продуктів. *Мікробіологічний журнал*, 81(6), 86—106. <https://doi.org/10.15407/microbiolj81.06.110>.
- Almaghrabi, O. A., Massoud, S. I., & Abdelmoneim, T. S. (2013). Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(1), 57—61. doi: 10.1016/j.sjbs.2012.10.004.
- Ahirwar, N. K., Gupta, G., Singh, V., Rawley, R. K., & Ramana, S. (2015). Influence on growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants by inoculation with *Pseudomonas fluorescence* (SS5): Possible role of plant growth promotion. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(2), 720—730. <http://www.ijcmas.com>.
- Azadikhah, M., Jamali, F., Nooryazdan, H. R., & Bayat, F. (2019). Growth promotion and yield enhancement of barley cultivars using ACC deaminase producing *Pseudomonas fluorescens* strains under salt stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(1), e0801. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13828>.
- Babu, A. N., Jogaiah, S., Ito, S. I., Nagaraj, A. K., & Tran, L. S. P. (2015). Improvement of growth, fruit weight and early blight disease protection of tomato plants by rhizosphere bacteria is correlated with their beneficial traits and induced biosynthesis of antioxidant peroxidase and polyphenol oxidase. *Plant Science*, 231, 62—73. doi: 10.1016/j.plantsci.2014.11.006.
- Goudjal, Y., Toumatia, O., Yekkour, A., Sabaou, N., Mathieu, F., & Zitouni, A. (2014). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off and promotion of tomato plant growth by endophytic actinomycetes isolated from native plants of Algerian Sahara. *Microbiological Research*, 169(1), 59—65. doi: 10.1016/j.micres.2013.06.014.
- Govindarajan, M. (2008). Effects of the inoculation of *Burkholderia vietnamensis* and related endophytic diazotrophic bacteria on grain yield of rice. *Microbial Ecology*, 55(1), 21—37. doi: 10.1007/s00248-007-9247-9.
- Gravel, V., Antoun, H., & Tweddell, R. J. (2007). Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biology and Biochemistry*, 39(8), 1968—1977. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.015>.
- Hsu, C. K., & Micallef, S. A. (2017). Plant-mediated restriction of *Salmonella enterica* on tomato and spinach leaves colonized with *Pseudomonas* plant growth-promoting rhizobacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 259, 1—6. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.07.012.
- Hungria, M., Campo, R. J., Souza, E. M., & Pedrosa, F. O. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331(1—2), 413—425. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>.
- Ignatova, L., Usmanova, A., Brazhnikova, Y., Omirbekova, A., Egamberdieva, D., Mukasheva, T., ... & Goncharova, A. (2022). Plant probiotic endophytic *Pseudomonas flavescens* D5 strain for protection of barley plants from salt stress. *Sustainability*, 14(23), 15881. <https://doi.org/10.3390/su142315881>.
- Joo, G. J., Kim, Y. M., Lee, I. J., Song, K. S., & Rhee, I. K. (2004). Growth promotion of red pepper plug seedlings and the production of gibberellins by *Bacillus cereus*, *Bacillus macroides* and *Bacillus pumilus*. *Biotechnology Letters*, 26(6), 487—491. doi: 10.1023/b:bile.0000019555.87121.34.

- Kang S. M., Khan A. L., Waqas, M., You, Y. H., Hamayun, M., & Joo, G. J. (2015). Gibberellin-producing *Serratia nematodiphila* PEJ1011 ameliorates low temperature stress in *Capsicum annuum* L. *European Journal of Soil Biology*, 68: 85—93. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.02.005>.
- Khalid, A., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2004). Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied Microbiology*, 96(3), 473—480. doi: 10.1046/j.1365-2672.2003.02161.x.
- Mahmoud, O. M. B., Hidri, R., Talbi-Zribi, O., Taamalli, W., Abdelly, C., & Djébal, N. (2020). Auxin and proline producing rhizobacteria mitigate salt-induced growth inhibition of barley plants by enhancing water and nutrient status. *South African Journal of Botany*, 128, 209—217. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.023>.
- Parasuraman, P., Pattnaik, S. S., Busi, S., Marraiki, N., Elgorban, A. M., & Syed, A. (2020). Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria and their biocontrol efficacy against phytopathogens of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Biosystems — An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 156(1), 164—170. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1845842>.
- Passari, A. K., Chandra, P., Mishra, V. K., Leo, V. V., Gupta, V. K., Kumar, B., & Singh, B. P. (2016). Detection of biosynthetic gene and phytohormone production by endophytic actinobacteria associated with *Solanum lycopersicum* and their plant-growth-promoting effect. *Research in Microbiology*, 167(8), 692—705. doi: 10.1016/j.resmic.2016.07.001.
- Passari, A. K., Upadhyaya, K., Singh, G., Abdel-Azeem, A. M., Thankappan, S., Uthandi, S., ... & Singh, B. P. (2019). Enhancement of disease resistance, growth potential, and photosynthesis in tomato (*Solanum lycopersicum*) by inoculation with an endophytic actinobacterium, *Streptomyces thermo-carboxydus* strain BPSAC147. *PLoS One*, 14(7), e0219014. doi: 10.1371/journal.pone.0219014.
- Pirog, T. P., Iutynska, G. O., Leonova, N. O., Beregova, K. A., & Shevchuk, T. A. (2018). Microbial synthesis of phytohormones. *Biotechnologia Acta*, 11(1), 5—24. <https://doi.org/10.15407/biotech11.01.005>.
- Pirog, T. P., Konon, A. D., Sofilkanych, A. P., & Iutinskaya, G. A. (2013a). Effect of surface-active substances of *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017, and *Nocardia vaccinii* K-8 on phytopathogenic bacteria. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 49(4), 360—367. <https://doi.org/10.1134/S000368381304011X>.
- Pirog, T., Sofilkanych, A., Konon, A., & Shevchuk, T. (2013b). Intensification of surfactants' synthesis by *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017, *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 and *Nocardia vaccinii* K-8 on fried oil and glycerol containing medium. *Food and Bioproducts Processing*. 91(2), 149—157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2013.01.001>.
- Pirog, T., Stabnikov, V., & Stabnikova, O. (2023). Microbial surfactants production from industrial waste. In: O. Stabnikova, O. Shevchenko, V. Stabnikov, O. Paredes-López (Eds.) *Bioconversion of Waste to Value-Added Products*, pp. 271—304. CRC Press, Boca Raton. doi: 10.1201/9781003329671-2.
- Raajaraam, L., & Raman K. A. (2022). Computational framework to identify metabolic engineering strategies for the co-production of metabolites. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9:779405. doi: 10.3389/fbioe.2021.779405.
- Riyanti, E. I., Susilowati, D. N., Mulya, K., & Listanto, E. (2019). Growth improvement of tomato with the application of bacterial isolates producing indole acetic acid (IAA) and phosphate solubilizer. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 20(1), 35. <http://dx.doi.org/10.21082/ijas.v20n1.2019.p35-42>.
- Samaddar, S., Chatterjee, P., Choudhury, A. R., Ahmed, S., & Sa, T. (2019). Interactions between *Pseudomonas* spp. and their role in improving the red pepper plant growth under salinity stress. *Microbiological Research*, 19, 66—73. doi: 10.1016/j.micres.2018.11.005.
- Shah, R., Amaresan, N., Patel, P., Jinal, H. N., & Krishnamurthy, R. (2020). Isolation and characterization of *Bacillus* spp. endowed with multifarious plant growth-promoting traits and their potential effect on tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedlings. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 4579—4587. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04543-1>.
- Yang, T., Shi, F., An, Y., Sun, D., & Lu, Y. (2022). Isolation of a pink-pigmented facultative methylotrophic bacteria and its growth-promoting effect on pepper plants. *Current Science*, 123, 214. <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/123/02/0214.pdf>. УДК 579.66

---

## BIOSYNTHESIS OF NOBLE METAL NANOPARTICLES. PART 3. POSSIBILITIES OF USING PLANTS

O. Skrotska, V. Marchenko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Nanoparticles*  
*Properties of*  
*nanoparticles*  
*Biosynthesis*  
*Mechanism of*  
*biosynthesis*  
*Noble metals*  
*Plants*

---

**Article history:**

Received 13.10.2023

Received in revised form  
27.10.2023

Accepted 16.11.2023

---

**Corresponding author:**

O. Skrotska

**E-mail:**

skrotska@ukr.net

**Citation:** O. I. Скроцька, В. В. Марченко (2023). Біосинтез наночастинок благородних металів. Частина 3. Можливості використання рослин. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 21—45.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-4

**ABSTRACT**

Various biological objects are used for the biosynthesis of noble metal nanoparticles: bacteria, fungi, yeast, cyanobacteria, algae, plants. In this review, the possibilities of using plants for the synthesis of nanoparticles were characterized. The analysis is primarily focused on scientific articles published between 2017 and 2023.

Noble metal nanoparticles can be obtained using extracts from various plants, including *Amygdalus communis*, *Argemone mexicana*, *Citrullus lanatus*, *Cicer arietinum*, *Gundelia tournefortii*, *Piper nigrum*, *Rauwolfia serpentina*, *Sambucus wightiana*, *Urtica dioica*, *Vernonia cinerea*, etc. Apart from using plant extracts, gold nanoparticles can be synthesized using plant oils and polyphenols. Silver nanoparticle biosynthesis was investigated using extracts from leaves, flowers, fruits, and food waste. The resulting nanoparticles exhibited a spherical shape and a wide spectrum of biological activity. Utilizing extracts from different parts of plants, platinum nanoparticles with anti-tumor, antioxidant, and catalytic activities were synthesized. Palladium nanoparticles can be obtained not only using plant extracts but also alkaloids, camphor, and natural juices. Plant-based materials were also employed for the synthesis of iridium and ruthenium nanoparticles, which exhibited diverse shapes, sizes, and demonstrated catalytic and biological activities.

Mechanisms of nanoparticle biosynthesis using plants are not fully explored nowadays. However, it is known that carboxyl, carbonyl, hydroxyl, amino, and biologically active groups of aromatic compounds participate in the reduction of gold ions, the formation of nanoparticles, and their stabilization. During the formation of silver nanoparticles, hydroxyl, methylene, and carboxyl groups of various biomolecules play a crucial role. Active polyphenol groups are involved in the biosynthesis and stabilization of platinum and palladium nanoparticles.

Nanoparticles synthesized using plant materials are characterized by antibacterial activity against both gram-negative and gram-positive bacteria, as well as anti-candida properties. Furthermore, biogenically synthesized noble metal nanoparticles were proven to possess anti-tumor properties by activating pro-apoptotic proteins and suppressing anti-apoptotic proteins. Additionally, these biogenic nanoparticles exhibit antioxidant and catalytic activities.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-4

---

## БІОСИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК БЛАГОРОДНИХ МЕТАЛІВ. ЧАСТИНА 3. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН

О. І. Скроцька, В. В. Марченко

Національний університет харчових технологій

Для біосинтезу наночастинок благородних металів використовують різні біологічні об'єкти: бактерії, гриби, дріжджі, ціанобактерії, водорості, рослини. У пропонуваному огляді охарактеризовано можливості використання саме рослин для синтезу наночастинок. На основі аналізу наукових статей в основному за 2017—2023 роки.

Наночастинки благородних металів можна отримати при використанні екстрактів: *Amygdalus communis*, *Argemone mexicana*, *Citrullus lanatus*, *Cicer arietinum*, *Gundelia tournefortii*, *Piper nigrum*, *Rauwolfia serpentina*, *Sambucus wightiana*, *Urtica dioica*, *Vernonia cinerea* та ін. Крім використання рослинних екстрактів, наночастинки золота можна отримати за допомогою рослинних олій і поліфенолів. Досліджений біосинтез наночастинок срібла при використанні екстрактів листя, квітів, плодів і харчових відходів. Отримані наночастинки мали сферичну форму і володіли широким спектром біологічної активності. При використанні екстрактів різних частин рослин були синтезовані наночастинки платини, які мали протипухлинну, антиоксидантну та каталітичну активність. Наночастинки паладію можна отримати при використанні не лише рослинних екстрактів, а й алкалоїдів, камеді та натуральних соків. З використанням рослинної сировини також синтезовані наночастинки іридію та рутенію. Вони мали різну форму та розміри, а також проявили каталітичну і біологічну активність.

Механізми біосинтезу наночастинок з використанням рослин на сьогодні повністю не досліджені. Проте відомо, що карбоксильні, карбонільні, гідроксильні, амінні та біологічно активні групи ароматичних сполук беруть участь у процесі відновлення іонів золота, формуванні наночастинок та їх стабілізації. Під час формування наночастинок срібла ключову роль відіграють гідроксильні, метиленові та карбоксильні групи різних біологічних речовин. Активні групи поліфенолів беруть участь у біосинтезі й стабілізації наночастинок платини та паладію.

Наночастинки, які були синтезовані з використанням рослинної сировини, характеризуються антибактеріальною активністю як щодо грамнегативних, так і грампозитивних бактерій, а також вони мають антиканцерогенну дію. Доведено також протипухлинну дію біосинтезованих наночастинок благородних металів, яка полягає в активації синтезу проапоптотичних білків і пригніченні синтезу антиапоптотичних білків. Крім того, біогенні наночастинки мають антиоксидантну та каталітичну активність.

**Ключові слова:** наночастинки, властивості наночастинок, біосинтез, механізм біосинтезу, благородні метали, рослини.

**Постановка проблеми.** Наночастинки благородних металів можна отримати фізичними, хімічними і біологічними методами. При цьому біосинтез наночастинок з використанням біологічних об'єктів та їх метаболітів виключає необхідність використання токсичних сполук як відновників і стабілізуючих агентів, також він є екологічно чистим та економічно ефективним методом (Mustapha, Misni, Ithnin, Daskum, & Unyah, 2022).

Кожен вид рослин має свій унікальний хімічний склад, і, отже, спосіб біосинтезу наночастинок може відрізнятися залежно від обраної рослини, або її частини. Тому вивчення механізмів цього процесу й оптимізація умов синтезу може допомогти розкрити нові можливості в цій галузі. Нині активно досліджуються оптимальні умови синтезу наночастинок благородних металів з використанням рослинних екстрактів, а також їх властивості: антибактеріальна та протигрибкова дія, протипухлинні властивості, антиоксидантна дія, каталітична активність. Біосинтез наночастинок з використанням рослинної сировини включає в себе вибір рослинних джерел (ціла рослина, листя, плоди, кора, квіти, харчові відходи тощо), вивчення механізмів біосинтезу та властивостей наночастинок, що мають важливе значення для їх подальшого застосування в різних галузях (Fahmy та ін., 2021).

У минулих оглядах ми розглядали використання грибів, дріжджів, бактерій (Скороцька, & Марченко, 2023), ціанобактерій і водоростей (Скороцька, Марченко, & Коваль, 2023) для синтезу наночастинок благородних металів. Основною **метою цього огляду** є аналіз наукових публікацій та узагальнення даних експериментальних досліджень, що стосуються можливостей використання рослин для біосинтезу наночастинок благородних металів, умов і механізмів їх біосинтезу, а також властивостей.

**Матеріали і методи.** При написанні огляду були використані сучасні наукові публікації зарубіжних вчених у міжнародних виданнях в основному 2017—2023 років. Наукові дослідження зарубіжних учених стосуються використання рослин, а також рослинних сполук для біосинтезу наночастинок благородних металів. Для пошуку наукових публікацій використовували наукометричні бази даних: PubMed, Google Scholar.

**Викладення основних результатів дослідження.** Рослини містять велику кількість хімічних сполук (флавоноїди, алкалоїди, терпеноїди, феноли, амінокислоти, стероїди тощо), які можуть виступати відновниками та стабілізаторами під час біосинтезу наночастинок благородних металів — золота (Patil та ін., 2017), срібла (Jyoti, Baunthiyal, & Singh, 2016), платини (Ramachandiran, Elangovan, & Rajesh, 2021), паладію (Abdullah, Behrouzi, & Kaboudin, 2021), рутенію (Nisha, Vidyalakshmi, & Razack, 2020) та іридію (Mergola, Carbone, Stomeo, & Del Sole, 2023).

**Наночастинки золота (AuNPs).** В основному для біосинтезу наночастинок золота використовують водні екстракти рослин (Wang, 2019; Fanoro, 2021; Alshahrani, 2021; Khuda, 2021), але є повідомлення і про використання етанольних (Liu та ін., 2019) та ацетонових екстрактів (Alshahrani, & Ibrahim 2022). Також є дослідження синтезу наночастинок золота з використанням ефірних рослинних олій (Dzimitrowicz та ін., 2019; Pathania та ін., 2022), поліфенолів (Oueslati, Ben Tahar, & Harrath, 2020) та екстрактів насіння (Mubeen та ін., 2022; Bawazeer та ін., 2022.)

Patil зі співавтор. для біосинтезу AuNPs (табл. 1) використовували водний екстракт сухих листків *Sasa borealis* — вид бамбука, що належить до сімейства *Poaceae*. При цьому для синтезу наночастинок золота робили екстракт з листя, а реакцію біосинтезу проводили при 50 °C упродовж 20 хв на водяній бані при безперервному перемішуванні (Patil та ін., 2018). Іншою групою науковців для біосинтезу AuNPs був використаний водний екстракт *Scutellaria barbata*. Це багаторічна трав'яниста рослина, яка відноситься до родини м'ятних трав. У китайській медицині *Scutellaria barbata* використовують для лікування різних захворювань, зокрема показані її протипухлинні властивості щодо раку молочної залози, шкіри, легенів, яєчників, колоректального раку та гепатокарциноми. Біосинтезовані наночастинок золота показали протипухлинну активність на моделі раку підшлункової залози людини *in vitro* (Wang та ін., 2019).

*Таблиця 1. Біосинтез наночастинок золота*

Рослина	Характеристика наночастинок		Властивості наночастинок	Джерело
	Форма, розміри	Параметри біосинтезу		
<b>Екстракти листя</b>				
<i>Euphrasia officinalis</i>	Сферичні та гексагональні, 5—30 нм	37 °C, 3 год	Протизапальна дія <i>in vitro</i>	Liu та ін., 2019
<i>Gundelia tournefortii</i>	Сферичні та шестикутні, 5—40 нм	45 °C, 1 год	Протипухлинна активність щодо клітин CaCo-2 (епідермальна аденокарцинома товстої кишки), U118 (глиома головного мозку), Sk-ov-3 (рак яєчників). Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213, <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 11774, <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27853; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i>	Keskin та ін., 2022
<i>Pongamia pinnata</i>	Сферичні, 10—25 нм	100 °C, 5 хв	Протигрибкова активність щодо <i>Pythium ultimum</i> var. <i>ultimum</i> SR1, <i>Pythium</i> sp. BP1120	Khatua та ін., 2020b
<i>Sasa borealis</i>	Сферичні, 10—30 нм	50 °C, 20 хв	Протипухлинна активність щодо клітин AGS (аденокарцинома шлунка)	Patil та ін., 2018
<i>Amygdalus communis</i>	Сферичні, 11—15 нм	22—25 °C (кімнатна), 60 хв	Протипухлинна активність щодо клітин CaCo-2 (епідермальна аденокарцинома товстої кишки), U118 (глиома головного мозку), Sk-ov-3 (рак яєчників). Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213, <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 11774, <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27833; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i>	Baran та ін., 2023

<i>Combretum erythrophyl lum</i>	Сферичні, 13,20 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus epidermidis</i> ATCC14990, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923, <i>Mycobacterium smegmatis</i> MC 215, <i>Proteus mirabilis</i> ATCC 7002, <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 13822, <i>Klebsiella oxytoca</i> ATCC 8724	Fanoro та ін., 2021
<i>Rauwolfia serpentina</i>	Сферичні, 17 нм	40 °С, 48 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923, <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Bacillus subtilis</i> MTCC 8114, <i>Streptococcus pyogenes</i> ATCC 19615. Антиоксидантна активність щодо 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразилу. Протипухлинна активність щодо клітин Hela (рак шийки матки)	Alshahrani та ін., 2021
<i>Albizia lebbek</i>	Сферичні, 20—30 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин НСТ-116 (рак товстої кишки)	Malaikolundhan та ін., 2020
<i>Catharanthus roseus</i>	Сферичні, 25—35 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин HeLa (рак шийки матки)	Ke та ін., 2019
<i>Marsdenia tenacissima</i>	Сферичні та овальні, 30—50 нм	22—25 °С (кімнатна), 30 хв	Протипухлинна активність щодо клітин HepG2 (рак печінки)	Li, Zhang, Desikan Seshadri, & Cao, 2019
<i>Pongamia pinnata</i>	Сферичні та неправильної форми, 50 нм	100 °С, 3 хв	Протипухлинна активність щодо клітин HeLa (рак шийки матки)	Khatua та ін., 2020a
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Сферичні, 79 нм	22—25 °С (кімнатна)	Протипухлинна активність щодо клітин HT-29 (рак товстої кишки)	Alshahrani, & Ibrahim 2022
<i>Argemone mexicana</i>	Гексагональні, 20—40 нм	80 °С, 3 год	Протипухлинна активність щодо клітин НСТ-15 (рак товстої кишки)	Datkhile та ін., 2021
<i>Sambucus wightiana</i>	Різної форми, 10—50 нм	22—25 °С (кімнатна), 60 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> ATCC 5922, <i>Staphylococcus epidermidis</i> ATCC 12228, <i>Salmonella enteritidis</i> ATCC 13076; протигрибкова дія щодо <i>Fusarium solani</i> ATCC 11712, <i>Microsporium canis</i> ATCC 11622; антиоксидантна активність; знеболювальна дія	Khuda та ін., 2021
<i>Citrus medica</i>	Різної форми, 20—50 нм	22—25 °С (кімнатна)	Протипухлинна активність щодо клітин HepG2 (рак печінки)	Liu та ін., 2023

<b>Екстракти надземної частини</b>				
<i>Abies spectabilis</i>	Сферичні та овальні, 20—200 нм	29 °С, 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин Т24 (рак сечового міхура)	Wu та ін., 2019
<i>Vernonia cinerea</i>	Сферичні та трикутні, 25 нм	22—25 °С (кімнатна), 5 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Bacillus subtilis</i> MTCC-2057, <i>Chromobacterium violaceum</i> MTCC-2656, <i>Escherichia coli</i> MTCC-41, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> MTCC-2453, <i>Staphylococcus aureus</i> MTCC-96, <i>Streptococcus pyogenes</i> I MTCC-890; протигрибкова активність щодо <i>Aspergillus niger</i> MTCC-3002, <i>Fusarium oxysporum</i> MTCC-7392, <i>Rhizopus oryzae</i> MTCC-262, <i>Penicillium expansum</i> MTCC-2818; антиоксидантна активність	Singh, Antil, & Dahiya, 2021
<i>Scutellaria barbata</i>	Сферичні, 30—40 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин PANC-1 (рак підшлункової залози)	Wang та ін., 2019
<i>Marsdenia tenacissima</i>	Сферичні та овальні, 30—50 нм	25 °С, 12 год	Протипухлинна активність щодо клітин А549 (карцинома легень)	Sun та ін., 2019
<i>Agrimonia pilosa</i>	Гексагональні, 20—50 нм	40 °С, 10 хв	Протипухлинна активність щодо клітин AGS (аденокарцинома шлунка); антиоксидантна активність	Patil, Seo, Lim, & Kim, 2019
<b>Екстракти насіння</b>				
<i>Citrullus colocynthis</i>	Сферичні, 7—33 нм	70 °С, 30 хв	*	Mubeen та ін., 2022
<i>Piper nigrum</i>	Сферичні та овальні, 40—60 нм	40 °С, 30 хв	Каталітична активність щодо відновлення метилового оранжевого. Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Providencia</i> ; протигрибкова активність щодо <i>Alternaria solani</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus flavus</i> ; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i>	Bawazeer та ін., 2022
<b>Екстракт кореневища</b>				
<i>Curcuma longa</i>	Сферичні, 2—10 нм	30 °С, 40 хв	Антимікробна активність щодо <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> ; протипухлинна активність щодо клітин А549 (аденокарцинома легень) та РС3 (рак передміхурової залози)	Sharma, Thakur, Saini, Kumar, & Torino, 2020

<i>Екстракт стебел</i>				
<i>Tinospora cordifolia</i>	Сферичні, 16,1 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Антимікробна активність щодо <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ali та ін., 2020
<i>Ефірні олії</i>				
<i>Eucalyptus globulus</i>	Різної форми (сферичні, трикутні, шестикутні, паличковидні), 0,2—84,2 нм	95 °С, 5 хв	*	Dzimitrowicz та ін., 2019
<i>Cymbopogon flexuosus</i>	Неправильної форми, 10—32 нм	60 °С, 2 год	Каталітична активність щодо відновлення метиленового синього. Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> ; протигрибкова активність щодо <i>Fusarium oxysporum</i>	Pathania та ін., 2022
<i>Поліфеноли</i>				
<i>Salvia officinalis</i>	Сферичні, 6 нм	25 °С, 5 хв	Каталітична активність щодо відновлення 4-нітрофенолу	Oueslati, Ben Tahar, & Harrath, 2020

**Примітка:** \* — автори не досліджували властивості наночастинок.

*Combretum erythrophyllum* — назва дерева, що росте в Південній Африці. Екстракти листя, насіння та кори *Combretum erythrophyllum* використовуються з лікувальною метою. Вони містять флавоноїди, алкалоїди, феноли та ефірні олії. Використовуючи водний екстракт листя *Combretum erythrophyllum*, були синтезовані наночастинок золота, які зберігали стабільність упродовж 60 діб спостереження. Біогенні AuNPs (табл. 1) показали антибактеріальну активність щодо широкого спектра грампозитивних і грамнегативних бактерій, а також характеризувались високою біосумісністю з лінією нормальних перещеплюваних клітин ВНК-21 (Fanogo та ін., 2021).

Alshahrani зі співавтор. для біосинтезу наночастинок золота використали водний екстракт листя *Rauwolfia serpentina*. Це вічнозелений чагарник і на сьогодні відомо близько 100 видів раувольфії, які існують у різних кліматичних умовах по всьому світу, включаючи тропічні та субтропічні зони на кількох континентах. В листі, корі та коренях *Rauwolfia serpentina* наявні різні алкалоїди. Однак у деяких випадках відсоток алкалоїдів може змінюватись залежно від того, де росте рослина, від віку рослини та сезону збору різних частин цього чагарника. Вміст алкалоїдів у корі становить понад 90%, тоді як вміст алкалоїдів у коренях коливається від 1,7 до 3,0%. Екстракти *Rauwolfia serpentina* застосовують при різних захворюваннях, наприклад, при гіпертонії, головних болях, лихоманці, безсонні, діарей, дизентерії, малярії, пневмонії, астмі тощо. (Alshahrani та ін., 2021).

В інших дослідженнях для синтезу наночастинок золота (табл. 1) використовували водний екстракт *Sambucus wightiana* (бузина) — один із поширених багаторічних деревних чагарників. Ця рослина містить безліч фітохімічних речовин,

таких як флавоноїди, поліфеноли, стероїди та глікозиди. У народній медицині бузину використовують для лікування різних патологічних станів, таких як запалення, шкірна інфекція, інфекція сечовивідних шляхів, черевний тиф, рак і гіпертонія. Саме феноли і флавоноїди, які є в екстрактах *Sambucus wightiana*, в основному відповідають за їх знеболювальну, протиракову, протизапальну та протимікробну дію (Khuda та ін., 2021).

Також для біосинтезу наночастинок золота можна використовувати етанольні екстракти рослин. Так, Liu зі співавтор. використовували сухий етанольний екстракт листя очанки (*Euphrasia officinalis*), який для біосинтезу AuNPs розчиняли у стерильній воді. Очанка є лікарською рослиною з роду *Euphrasia*, що належить до сімейства *Orobanchaceae*. Вона широко використовується в Європі як протизапальний засіб при сінній лихоманці, синуситі та інфекціях верхніх дихальних шляхів, для лікування та профілактики захворювань очей, таких як кон'юктивіт, офтальмія, очна алергія та втома очей. Екстракти *Euphrasia officinalis* мають антиоксидантну, протизапальну та антимікробну активність. В них містяться фенольні кислоти та флавоноїди. Відомо, що саме ці сполуки діють як відновники та стабілізатори при біовідновленні іонів золота та формуванні наночастинок (Liu та ін., 2019).

*Marsdenia tenacissima* використовується в традиційній китайській медицині для лікування пневмонії й трахеїту. Екстракт цієї рослини має протипухлинну активність, яка пов'язана із зупинкою клітинного циклу, клітинним апоптозом та індукцією антиангіогенезу. Основними активними інгредієнтами екстрактів *Marsdenia tenacissima* є поліоксипрегнани, аглікони та глікозиди. Sun зі співавтор. використовували екстракт рослини для синтезу наночастинок золота. Отримані AuNPs (табл. 1), як і екстракти *Marsdenia tenacissima*, виявили протиракову активність, зокрема у дослідях *in vitro* на моделі карциноми легень. Автори показали, що протипухлинна дія наночастинок ґрунтується на індукції апоптозу ракових клітин за рахунок впливу на синтез проапоптичного білка Вах і антиапоптичного білка Bcl-2 (Sun та ін., 2019). В іншому дослідженні було показано, що протипухлинна активність біосинтезованих AuNPs пов'язана з індукцією мітохондріально-опосередкованих апоптичних сигнальних шляхів через індукцію активних форм кисню. Також біогенні AuNPs призводили до підвищення рівнів каспаз 3 і 9, які запускають каскад реакцій, що призводять до загибелі ракових клітин. При цьому спостерігали підвищення рівнів проапоптичних білків Вах та Bid, і пригнічення синтезу антиапоптичного білка Bcl-2. Для досліджень наночастинок золота були синтезовані з використанням водного екстракту *Catharanthus roseus*. Це лікарська рослина, яка містить у своєму складі похідні сполуки терпеноїдних індольних алкалоїдів і використовується у фітотерапії для лікування різних видів раку та шкірних захворювань, а також діабету та гіпертонії (Ke та ін., 2019).

Індійський бук (*Pongamia pinnata*), екстракт листя якого використовували для отримання біогенних наночастинок золота, належить до сімейства *Fabaceae* та підродини *Papilionaceae*. Екстракти, отримані з листя *Pongamia pinnata* містять флавоноїди, флаволи, фурани, фуранофлавоноли, хроменофлаволи, фуранодикетони та глікозиди. За рахунок наявності цих сполук екстракт *Pongamia pinnata* характеризується антиоксидантними властивостями, а також його використовують як антипроліферативний, протизапальний і протираковий засіб. Саме тому

синтезовані AuNPs з використанням екстракту *Pongamia pinnata* (табл. 1) перевіряли на антиракову активність. На моделі раку шийки матки *in vitro* було показано, що наночастинки золота проникають всередину пухлинних клітин шляхом ендозитозу, після чого спостерігається внутрішньоклітинне підвищення рівнів активних форм кисню. Це призводить до цитотоксичного ефекту за рахунок зупинки росту ракових клітин у синтетичний період клітинного циклу (S-фаза) та подальшої загибелі клітин у результаті апоптичних реакцій (Khatua, 2020a; Khatua, 2020b). При використанні експериментальної моделі раку сечового міхура *in vitro* було показано, що біогенні AuNPs теж викликають апоптоз пухлинних клітин, але механізм їх дії інший. Наночастинки золота викликають каскад реакцій, що призводить до фрагментації ядра та пошкодження ДНК у ракових клітинах. Самі ж наночастинки були синтезовані з використанням екстракту східногімалайської ялиці (*Abies spectabilis*) (Wu та ін., 2019).

*Marsdenia tenacissima* — багаторічна ліана, поширена в тропічних і субтропічних районах Азії, переважно у китайських провінціях Юньнань і Гуйчжоу. Екстракти цієї рослини використовуються для лікування трахеїту, астми, ревматизму тощо. Екстракти *Marsdenia tenacissima* містять полісахариди, стероїдні глікозиди, органічні кислоти, алкалоїди, смоли та пігменти, а також інші хімічні компоненти, які надають цим екстрактам різних фармакологічних властивостей, зокрема вони полегшують кашель при астмі, мають знеболювальну та протизапальну дію. Лі з колегами реалізували біосинтез наночастинок золота з використанням екстракту *Marsdenia tenacissima* та дослідили їх протипухлинну активність *in vitro* на моделі раку печінки (табл. 1). Біогенні AuNPs спричиняли апоптоз пухлинних клітин за рахунок активації синтезу проапоптичних білків Bax, каспази 3 і 9 та пригнічення синтезу антиапоптичних білків Bcl-2 та Bcl-xL (Li, Zhang, Desikan Seshadri, & Cao, 2019).

Що стосується механізмів біосинтезу наночастинок золота з використанням екстрактів рослин, то на сьогодні відомо, що карбоксильні, карбонільні, гідроксильні, амінні та біологічно активні групи ароматичних сполук беруть участь у процесі відновлення іонів золота, формуванні наночастинок та їх стабілізації (Patil, 2017; Wang, 2019). Наприклад, гідроксильні групи фенольних сполук можуть відновлювати іони золота та запобігати утворенню агрегатів наночастинок під час їх біосинтезу AuNPs (Liu та ін., 2019). Є повідомлення, що дубильні речовини окислюються в присутності іонів тетрахлораурату, в результаті чого відбувається відновлення іонів золота і розпочинається процес формування наночастинок (Patil, Seo, Lim, & Kim, 2019). У разі використання натуральних ефірних рослинних олій для біосинтезу AuNPs була підтверджена участь в цьому процесі оцименів, біциклічних монотерпенів і феландренів (Dzimitrowicz та ін., 2019). Також показано роль алкінів, ароматичних сполук та алкенів під час утворення біогенних наночастинок золота (Malaikolundhan та ін., 2020).

**Наночастинки срібла (AgNPs).** Для біосинтезу наночастинок срібла можна використовувати екстракти листя (Jyoti, 2016; Aktepe, 2021b; Baran, 2022), плодів (Bindhu, & Umadevi, 2015), кори (Iravani, & Zolfaghari, 2013), квітів (Sabapathi, Ramalingam, Aruljothi, Lee, & Barathi, 2023) та харчових відходів (Aktepe, 2021a; Ibrahim, 2015; Baran та ін., 2021).

Кропива *Urtica dioica* L. відноситься до багаторічних рослин родини *Urticaceae*. Ця рослина має антибактеріальну, протигрибкову, противірусну та антиоксидантну дію. Для біосинтезу наночастинок срібла автори використовували водний екстракт листя кропиви (табл. 2). Біогенні AgNPs характеризувались антибактеріальною дією проти широкого кола грампозитивних і грамнегативних бактерій. Механізм цієї дії повністю не вивчений. Наночастинки срібла можуть проникати всередину бактеріальних клітин, де відбувається вивільнення іонів срібла, які, у свою чергу, можуть взаємодіяти з білками та нуклеїновими кислотами, що призводить до втрати життєздатності клітини. AgNPs каталізують утворення активних форм кисню, що теж призводить до загибелі клітини внаслідок окислювального стресу. Також було показано синергічну дію AgNPs з різними антибіотиками, що дасть використовувати наночастинки для посилення дії антибіотиків (Jyoti, Baunthiyal, & Singh, 2016).

Таблиця 2. Використання рослинних компонентів для біосинтезу наночастинок срібла

Рослина	Характеристика наночастинок		Біологічні властивості наночастинок	Джерело
	Форма, розміри	Параметри біосинтезу		
<b>Екстракти листя</b>				
<i>Cicer arietinum</i> L.	Сферичні, 6,11—9,66 нм	22—25 °C (кімнатна), 3 год	Протипухлинна активність щодо клітин CaCo-2 (епідермальна аденокарцинома товстої кишки), U118 (гліома головного мозку), Sk-ov-3 (рак яєчників); антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27853, <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 11774, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i>	Baran та ін., 2022
<i>Prunus dulcis</i> L.	Сферичні, 16 нм	22—25 °C (кімнатна), 30 хв	Протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i> ; антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213, <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 11774, <i>Escherichia coli</i> ATCC25922, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27833	Aktepe, & Baran, 2021b
<i>Urtica dioica</i> L.	Сферичні, 20—30 нм	40 °C, 60 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Bacillus cereus</i> 4079, <i>Bacillus subtilis</i> 441, <i>Staphylococcus aureus</i> 740, <i>Staphylococcus epidermidis</i> 3615, <i>Escherichia coli</i> 443, <i>Klebsiella pneumoniae</i> 3384, <i>Serratia marcescens</i> 97, <i>Salmonella typhimurium</i> 98	Jyoti, Baunthiyal, & Singh, 2016

<i>Citrullus lanatus</i> sp.	Сферичні, 21,27 нм	22—25 °C (кімнатна), 20 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> ; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i>	Aktepe, & Baran, 2021a
<b>Екстракт плодів</b>				
Буряк столовий	Сферичні, 15 нм	22—25°C (кімнатна), 7 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853, <i>Streptococcus aureus</i> ATCC 12384, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923; каталітична активність щодо відновлення 4-нітрофенолу	Bindhu, & Umadevi, 2015
<b>Екстракти шкірки плодів</b>				
<i>Ananas comosus</i>	Сферичні, 11,61 нм	22—25 °C (кімнатна), 2 год	Антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213, <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 11774, <i>Escherichia coli</i> ATCC25922, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27833; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i> ; протипухлинна активність щодо клітин CaCo-2 (епідермальна аденокарцинома товстої кишки), U118 (гліома головного мозку), Sk-ov-3 (рак яєчників)	Baran та ін., 2021
<i>Musa paradisiaca</i>	Сферичні, 23,7 нм	30 °C, 72 год	Протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i> ATCC 120231; антибактеріальна активність щодо <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027, <i>Escherichia coli</i> ATCC 8739	Ibrahim, 2015
<b>Екстракт квітів</b>				
<i>Cassia auriculata</i>	Сферичні, 30—80 нм	35 °C, 24 год	Антиоксидантна активність щодо 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу; протипухлинна активність щодо клітин MCF-7 (аденокарцинома молочної залози); антибактеріальна активність щодо <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Vibrio cholera</i> , <i>Escherichia coli</i>	Sabapathi, Ramalingam, Aruljothi, Lee, & Barathi, 2023

Для біосинтезу наночастинок срібла можна використовувати водний екстракт листя кавуна (*Citrullus lanatus* sp.). Автори збирали листя після збору врожаю. Таким чином плоди *Citrullus lanatus* sp. використовуються у їжу, а відходи після збору врожаю можна використовувати для біосинтезу AgNPs (Aktepe, & Baran, 2021a). Цими ж авторами був досліджений біосинтез наночастинок срібла при використанні водного екстракту листків мигдального дерева (*Prunus dulcis* L.).

Біосинтезовані AgNPs показали широкий спектр антимікробної дії (Актепе, & Баран, 2021b). При дослідженні AgNPs, що були отримані з використанням водного екстракту листя нуту звичайного (*Cicer arietinum* L.), крім антимікробних, виявлені ще й протипухлинні властивості наночастинок (Баран та ін., 2022).

Є повідомлення про синтез наночастинок срібла при використанні водного екстракту плодів червоного столового буряка (табл. 2). Отримані AgNPs показали антибактеріальну активність як проти грамнегативних бактерій, так і проти грампозитивних (Bindhu, & Umadevi, 2015).

*Cassia auriculata* є лікарською рослиною з сімейства *Fabaceae* і роду *Senna*, яка росте в Індії. Для біосинтезу наночастинок срібла був використаний водний екстракт квітів *Cassia auriculata*, до якого додавали нітрат срібла. При цьому на початку біосинтезу розчин обробляли ультразвуком при 37 °C, після чого залишали в темноті при температурі 35 °C (Sabapathi, Ramalingam, Aruljothi, Lee, & Barathi, 2023).

Iravani та Zolfaghari для біосинтезу AgNPs використовували водний екстракт кори сосни (*Pinus eldarica*). Автори дослідили вплив рН на біосинтез наночастинок і показали, що при кислих значеннях рН формувались AgNPs великих розмірів, в той час як при лужному значенні рН утворювались високодисперсні наночастинок менших розмірів (Iravani, & Zolfaghari, 2013).

Для синтезу наночастинок срібла можна використовувати і харчові відходи, такі як шкірки бананів (табл. 2), які у своєму складі містять пектин, целюлозу та геміцелюлозу. Функціональні групи цих полімерів можуть бути залучені до відновлення іонів  $Ag^+$  до  $Ag^0$  та формування наночастинок. Був досліджений біосинтез наночастинок при використанні водного екстракту шкірок бананів за різних значень рН. При рН 2—4 біосинтезу не спостерігали, що може бути пов'язане з інактивацією біомолекул при кислих значеннях рН. При рН 11 були отримані високомонодисперсні наночастинок срібла (Ibrahim, 2015). Також для біосинтезу AgNPs можна використовувати водний екстракт шкірок ананасу (Баран та ін., 2021).

Щодо механізму біосинтезу AgNPs, то показано, що ключову роль при цьому відіграють гідроксильні, метиленові та карбоксильні групи біологічних речовин рослинних екстрактів (Актепе, & Баран, 2021b). Аміди і фенольні сполуки приймають участь у відновленні іонів срібла та формуванні наночастинок (Баран та ін., 2022). Показано, що водний екстракт квітів *Cassia auriculata* містить поліфеноли, стероїди, алкалоїди, дубильні речовини й тритерпеноїди, які відновлюють іони срібла, беруть участь у біосинтезі наночастинок та стабілізують їх (Sabapathi, Ramalingam, Aruljothi, Lee, & Barathi, 2023). У водному екстракті *Urtica dioica* присутні вуглеводи, алкалоїди, сапоніни, білки, амінокислоти, фенол, дитерпени, дубильних сполуки та фітостероли, які можуть бути відповідальними за ефективну стабілізацію наночастинок срібла (Jyoti, Baunthiyal, & Singh, 2016).

**Наночастинок платини (PtNPs).** На сьогодні отримані наночастинок платини при використанні екстрактів різних частин рослин: листя (Ramachandiran, Elangovan, & Rajesh, 2021), коренів (Dobrucka, Romaniuk-Drapała, & Kaczmarek, 2019), а також харчових відходів, таких як шкірки гранатів (Şahin, 2018; Dauthal, 2015) та мигдалю (Sadalage та ін., 2022).

Шкірки гранатів (*Punica granatum*) є відходами харчової та сільськогосподарської промисловості. В їх складі виявлені дубильні речовини, антиоксиданти пунікалагін та кверцетин, галова та елагова кислоти. Ці сполуки можуть брати участь у біовідновленні іонів платини, що й було показано у дослідженнях. Так, були синтезовані PtNPs (табл. 3) з використанням етанольно-водного екстракту шкірок граната (Şahin та ін., 2018) та водного екстракту (Dauthal, & Mukhopadhyay, 2015). Іншими авторами був досліджений синтез наночастинок платини з використанням екстракту мигдалевих шкірок. В складі мигдалевих шкірок є флавоноїди, фенольні сполуки, спирти та глікозиди, які можуть брати участь у біосинтезі наночастинок (Sadalage та ін., 2022).

Таблиця 3. Наночастинки платини, отримані з використанням рослин

Рослинні екстракти	Характеристика наночастинок		Властивості наночастинок	Джерело
	Форма, розміри	Параметри біосинтезу		
<b>PtNPs</b>				
Надземна частина <i>Bidens tripartitus</i>	Неправильної форми, 4 нм	90 °C, 8 год	*	Dobrucka, 2016
Листя <i>Barleria prionitis</i>	Сферичні, 5—7 нм	100 °C, 5 год	Протипухлинна активність щодо MCF-7 (рак молочної залози)	Rokade та ін., 2017
Листя <i>Salix tetrasperma</i>	Кубічні, 12 нм	22—25 °C (кімнатна), 2 год	Антиоксидантна активність; протипухлинна дія щодо клітин MCF-7 (рак молочної залози)	Ramachandiran, Elangovan, & Rajesh, 2021
Шкірка <i>Punica granatum</i>	Сферичні, 16—23 нм	90 °C, 30 хв	Каталітична активність щодо відновлення 3-нітрофенолу	Dauthal, & Mukhopadhyay, 2015
Насіння <i>Peganum harmala</i> L.	Сферичні, 18—20 нм	60 °C, 24 год	Антиоксидантна активність; протипухлинна дія щодо клітин A549 (карцинома легень) та MCF-7 (рак молочної залози)	Fahmy та ін., 2021
Шкірка <i>Punica granatum</i>	Сферичні, 20 нм	22—25 °C (кімнатна), 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин MCF-7 (аденокарцинома молочної залози)	Şahin та ін., 2018
Корені <i>Ononis spinosa</i> L.	Сферичні та гексагональні, 20 нм	80 °C, 5 год	Протипухлинна активність щодо клітин A549 (карцинома легень)	Dobrucka, Romaniuk-Drapala, & Kaczmarek, 2019
<b>Pt-PdNPs</b>				
Листя <i>Annona muricata</i>	3,97—10,68 нм (форма не вказана)	100 °C, 2 год	Каталітична активність щодо відновлення метилового помаранчевого, родаміну-В та метиленового синього	Velidandi, Sarvepalli, Pabbathi, & Baadhe, 2021
Насіння <i>Peganum harmala</i> L.	Сферичні, 28,1—38,9 нм	60 °C, 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин A549 (карцинома легень) та MCF-7 (рак молочної залози); антиоксидантна активність	Fahmy та ін., 2021

**Примітка:** \* — автори не досліджували властивості наночастинок.

Повідомляється про використання екстракту череди (*Bidens tripartitus*) для біосинтезу наночастинок платини (табл. 3). *Bidens tripartitus* є однорічною трав'янистою рослиною і відноситься до родини айстрових. Зустрічається в Європі, Азії, Африці та Північній Америці. Фітохімічні дослідження складу цієї трави показали наявність флавонів, флаванонів, халконів і ауронів, кумаринів, вітаміну С, каротиноїдів та фітонцидів (Dobrucka, 2016).

Також для синтезу PtNPs використовували екстракт коренів бобової рослини *Ononis spinosa* L., що відноситься до сімейства *Fabaceae*. Росте в Європі та на піщаних ділянках Азії. Коріння цієї рослини дерев'янисте та скручене, і завдяки своїм лікувальним властивостям воно часто використовується у фітотерапії. Коріння містить похідні флавоноїдів, стероли, терпенові речовини, фенольні кислоти, ізофлавоноїди та ефірну олію (Dobrucka, Romaniuk-Drapała, & Kaczmarek, 2019).

*Salix tetraspeama* є деревом з родини вербових, що росте у вологих і болотистих місцях. Її листя використовують в народній медицині при діабеті, лихоманці, геморої, епілепсії, дизентерії, кашлі та застуді. Був досліджений біосинтез PtNPs (табл. 3) з використанням екстракту листя *Salix tetraspeama*, при якому використовували ультразвук в процесі біосинтезу, або магнітну мішалку. При цьому використання ультразвуку призвело до формування наночастинок менших розмірів і вони показали кращу біологічну активність, ніж PtNPs, які утворились при використанні для біосинтезу магнітної мішалки (Ramachandiran, Elangovan, & Rajesh, 2021).

Hosny зі співавтор. для біосинтезу наночастинок платини використовували екстракт листя трав'янистої рослини *Polygonum salicifolium*, яка є гідрофітним видом і росте в районі дельти Нілу в Єгипті. Встановлено, що в екстракті *Polygonum salicifolium* є глікозиди, флавоноїди, фенольні кислоти та інші фітокомпоненти, за рахунок яких і відбувається біовідновлення іонів платини (Hosny та ін., 2022).

Що стосується механізму біосинтезу наночастинок платини при використанні рослинної сировини, то показано, що важливу роль у цьому відіграють активні групи поліфенолів. Гідроксильні групи поліфенолів в орто- або пара-положенні беруть участь в окисно-відновних реакціях. Завдяки своїй здатності переносити протони та електрони фенольні сполуки окислюються і за допомогою хінонів, що виникають у результаті їх окислення, можуть виступати посередниками в окисленні інших сполук, які не реагують безпосередньо з киснем (Dobrucka, 2016). На першому етапі активні групи поліфенолів відновлюють іони Pt<sup>4+</sup> до Pt<sup>0</sup>. Після чого відбувається формування наночастинок та їх стабілізація. На цей процес впливають амінні, гідроксильні і карбоксильні групи, які окислюються в процесі відновлення та стабілізації наночастинок, після чого починають покривати поверхню PtNPs. Також білки, терпеноїди, аміни, феноли, альдегіди, кетони та карбонові кислоти сприяють біогенному синтезу наночастинок платини (Ramachandiran, Elangovan, & Rajesh, 2021).

**Двокомпонентні наночастинки платини і паладію (Pt-PdNPs).** Нині актуальними є дослідження біосинтезу двокомпонентних наночастинок металів, оскільки вони характеризуються покращеними біологічними властивостями у порівнянні з монокомпонентними. Так, Fahmy зі співавтор. отримали наночастинки платини-паладію (табл. 3) з використанням екстракту насіння *Peganum harmala* L. Ця рослина належить до сімейства *Zygophyllaceae*, у природних умовах росте на

Близькому Сході та в Північній Африці. Насіння *Peganum harmala* L. збагачене терапевтично активними алкалоїдами, у тому числі  $\beta$ -карболіновими та хіназоліновими, зокрема такими як гармін, гарман, гармол, гармалін, гармалол і пеганін. Також насіння містить оксигеновані монотерпени, антрахінони, флавоноїди та полісахариди, які відповідають за біовідновлення різних іонів металів. Біосинтезовані Pt-PdNPs мали більш виражену антиоксидантну та цитотоксичну активність порівняно з монокомпонентними наночастинками платини і паладію (Fahmy та ін., 2021). В іншому дослідженні встановлено більш високу каталітичну активність двокомпонентних наночастинок металів у порівнянні з монокомпонентними (Velidandi, Sarvepalli, Pabbathi, & Baadhe, 2021). Стосовно механізму біосинтезу двокомпонентних наночастинок, то показано, що алкалоїди через карбонільні групи зв'язують іони металів, відновлюють їх та беруть участь у формуванні наночастинок (Fahmy та ін., 2021).

**Наночастинки паладію (PdNPs).** Є ряд досліджень, де для біосинтезу наночастинок паладію використовують екстракти листя (Rabiee, 2020; Abdullah, 2021), квітів (Anand та ін., 2016), коріння (Al-Radadi, 2022) шкірок плодів (Akanda, 2021; Kalpana, 2018) та навіть натуральний сік (Rakibuddin, & Kim, 2018).

Досить часто під час вибору рослин для біосинтезу наночастинок автори звертають увагу на їх біологічні властивості та використання в різних галузях, зокрема у медицині. Так, різні частини чагарника *Barleria prionitis* досить часто використовують у традиційній медицині, зокрема при гнійних інфекціях, астмі, набряках тощо. При використанні екстракту листя *Barleria prionitis* були синтезовані наночастинки паладію (табл. 4), які показали протипухлинну дію *in vitro* (Rokade та ін., 2017). У 2020 р. вперше було показано можливість отримання PdNPs при використанні екстракту розмарину (*Rosmarinus officinalis*). Синтезовані наночастинки характеризувались широким спектром антимікробної дії, а також мали каталітичну активність у реакції Мізорокі-Гека (Rabiee, Bagherzadeh, Kiani, & Ghadiri, 2020). Екстракти листя чайного куща *Camellia sinensis* використовують як протизапальний засіб, а також для лікування різних захворювань, зокрема ожиріння, діабету, остеопорозу і раку. Дані екстракти містять велику кількість поліфенолів, особливо катехіну. Саме завдяки поліфенолам екстракти *Camellia sinensis* проявляють широкий спектр біологічних властивостей і характеризуються антиоксидантною, антимікробною та протипухлинною дією. Наночастинки паладію, які були синтезовані з використанням екстракту *Camellia sinensis*, також мали протипухлинну дію у дослідях *in vitro* та *in vivo* (Othman та ін., 2020). Екстракти *Saussurea costus* (трав'яниста рослина) містять алкалоїди, флавоноїди, терпени, антрахінони, лактони та інші біологічно активні сполуки, за рахунок яких вони мають противиразкові, антимікробні й антипухлинні властивості. Синтезовані з використанням екстракту *Saussurea costus* наночастинки паладію мали вищу ефективність біологічної дії, ніж самі рослинні екстракти (Al-Radadi, 2022). *Peganum harmala* L. є трав'янистою багаторічною рослиною. Насіння цієї рослини містить  $\beta$ -карболінові та хіназолінові алкалоїди, а також монотерпени, антрахінони, флавоноїди та полісахариди. Саме завдяки цьому насіння *Peganum harmala* L. має широкий спектр протимікробних, антиоксидантних і протиракових властивостей. Fahmy зі співавтор для біосинтезу наночастинок паладію (табл. 4) використовували алкалоїди, які були виділені з насіння цієї рослини (Fahmy та ін., 2021).

Таблиця 4. Властивості та біосинтез наночастинок паладію

Рослина	Характеристика наночастинок		Властивості наночастинок	Джерело
	Форма, розміри	Параметри біосинтезу		
<b>Екстракти листя</b>				
<i>Filicium decipiens</i>	Сферичні, 2—22 нм	21 °С, 4 дні	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Sharmila та ін., 2017
<i>Barleria prionitis</i>	Сферичні, 5—7 нм	100 °С, 5 год	Протипухлинна активність щодо клітин MCF-7 (рак молочної залози)	Rokade та ін., 2017
<i>Camellia sinensis</i>	Сферичні, 6—8 нм	40 °С, 2 год	Протипухлинна активність щодо клітин WENI-3В (мишачий мієлоцитарний лейкоз)	Othman та ін., 2020
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Сферичні, 15—90 нм	22—25 °С (кімнатна), 24 год	Протикандидозна активність щодо <i>Candida parapsilosis</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>Candida glabrata</i> , <i>Candida krusei</i> ; антибактеріальна дія щодо <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Micrococcus luteus</i> ; каталітична активність в реакції Мізорокі-Гека	Rabiee, Bagherzadeh, Kiani, & Ghadiri, 2020
<i>Aristolochia olivieri</i>	Сферичні, 32 нм	100 °С, 2 год	Каталітична активність щодо відновлення 4-нітротолуолу	Abdullah, Behrouzi, & Kaboudin, 2021
<i>Diospyros kaki</i>	Сферичні, 50—120 нм	70 °С, 25 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	Attar, & Altikatoglu Yapaoz, 2018
<i>Ananas comosus</i>	Кубічні, 1,71—16,14 нм	100 °С, (тривалість не вказана)	Фотокаталітична активність щодо деградації поліетиленової плівки	Olajire, & Mohammed, 2019
<i>Moringa oleifera</i>	Кубічні, 7—9 нм	80 °С, 4 год	Каталітична активність в реакції Судзукі-Міяура	Manjare, Pendhari, Badade, Thopate, & Thopate, 2022
<b>Екстракт квітів</b>				
<i>Moringa oleifera</i>	Сферичні, 2—18 нм	22—25 °С (кімнатна), 12 год	Протипухлинна активність щодо клітин A549 (карцинома легень); антибактеріальна дія щодо <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> ; протикандидозна активність щодо <i>Candida albicans</i> , <i>Candida utilis</i> ; каталітична активність щодо відновлення 4-нітрофенолу та метиленового синього	Anand та ін., 2016

<b>Екстракт стебел</b>				
<i>Cissus quadrangularis</i>	Сферичні, 12—26 нм	22—25 °С (кімнатна), 10 хв	Антибактеріальна активність щодо <i>Escherichia coli</i>	Anjana, Bindhu, Umadevi, & Rakhi, 2019
<b>Екстракти шкірки плодів</b>				
<i>Lagenaria siceraria</i>	Сферичні, 16—73 нм	60 °С, 3 год	Протидріжджова активність щодо <i>Malassezia furfur</i> , <i>Malassezia pachydermatis</i> ; інсектицидна активність по відношенню до <i>Sitophilus oryzae</i>	Kalpna, & Rajeswari, 2018
<i>Spondias mombin</i>	Сферичні, 30 нм	22—25 °С (кімнатна), 2 год	Каталітична активність щодо відновлення 4-нітрофенолу	Akanda, Hasan, Ema, & Aminul Haque, 2021
<b>Екстракт коріння</b>				
<i>Saussurea costus</i>	Сферичні, 1,9—17,6 нм	100 °С, 2 год	Протипухлинна активність щодо клітин НСТ-116 (рак товстої кишки), МСF-7 (рак молочної залози), НерG2 (гепатоцелюлярна карцинома); антибактеріальна дія щодо <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ; антиоксидантна активність; протизапальна дія	Al-Radadi, 2022
<b>Екстракт надземної частини</b>				
<i>Pulicaria glutinosa</i>	Сферичні, 20—25 нм	90 °С, 120 хв	Каталітична активність в реакції Сузукі	Khan та ін., 2014
<b>Алкалоїди насіння</b>				
<i>Peganum harmala L.</i>	Сферичні, 16,8—28,2 нм	60 °С, 24 год	Протипухлинна активність щодо клітин А549 (карцинома легень) та МСF-7 (рак молочної залози); антиоксидантна активність щодо відновлення заліза	Fahmy та ін., 2021
<b>Камедь</b>				
<i>Anogeissus latifolia</i>	Сферичні, 2,3—7,5 нм	121 °С, 30 хв	Антиоксидантна активність; каталітична активність щодо відновлення кумасі діамантового синього G-250, метиленового синього, метилового помаранчевого	Kora, & Rastogi, 2018
<b>Натуральні соки плодів, або рослин</b>				
Яблуня	Сферичні, 15 нм	22—25 °С (кімнатна), 1 год	SERS-активність щодо виявлення метиленового синього у водних розчинах	Rakibuddin, & Kim, 2018
Апельсин	Сферичні, 2-5 нм			
Алое вера	Сферичні, 15-25 нм			

Є дослідження, що стосується використання фруктових дерев для біосинтезу наночастинок паладію, наприклад, екстрактів листя хурми (*Diospyros kaki*). Листя

*Diospyros kaki* містить олігомери флавоноїдів, фенольні та органічні кислоти, дубильні речовини, аскорбінову кислоту і кофеїн (Attar, & Altikatoglu Yaraoz, 2018). Akanda зі співавтор. для біосинтезу PdNPs використали водний екстракт шкірок ямайської сливи (*Spondias mombin*). Вони показали, що саме в кислому середовищі (pH=2) відбувається швидший синтез наночастинок у порівнянні з іншими значенням pH (Akanda, Hasan, Ema, & Aminul Haque, 2021). Також є повідомлення про успішне використання екстракту шкірок гарбуза (*Lagenaria siceraria*) для біосинтезу PdNPs (Kalpana, & Rajeswari, 2018).

Anand зі співавтор. для біосинтезу PdNPs використовували водний екстракт квітів *Moringa oleifera*. *Moringa oleifera* — дерево, що росте у субтропічному і тропічному кліматі на різних континентах. Практично всі частини цього дерева використовують у фітотерапії, а з насіння виготовляють морингову олію, яку використовують у косметології та кулінарії. Хімічний склад екстракту квітів *Moringa oleifera* не є стабільним, але в основному у ньому містяться фталати, моно-терпени та інші похідні довголанцогових жирних кислот, які можуть відновлювати іони Pd<sup>2+</sup> до Pd<sup>0</sup> (Anand та ін., 2016).

Цікавим є дослідження біосинтезу PdNPs з використанням розчину природного рослинного полімеру камеді гхаті з *Anogeissus latifolia* (табл. 4). Камедь гхаті широко використовується як сполучна речовина, емульгатор, фіксатор смаку, стабілізатор і загусник. В ході досліджень з біосинтезу наночастинок було встановлено, що при автоклавуванні за рахунок розширення біополімеру функціональні групи камеді стають більш доступними для іонів паладію. При цьому біосинтезовані наночастинки не проявили антибактеріальної дії щодо *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 та *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, проте показали підвищену антиоксидантну (табл. 4) та каталітичну активність (Kora, & Rastogi, 2015).

Під час досліджень, що стосуються механізму біосинтезу наночастинок паладію, було встановлено, що такі фітохімічні речовини, як стероїди, сапоніни, дубильні речовини, алкалоїди, флаваноїди та фенольні сполуки можуть діяти як відновлюючі та стабілізуючі агенти. Зокрема, їх карбоксильні, амінні, карбонільні та амідні групи є відповідальними за біовідновлення іонів паладію та формування наночастинок (Khan, 2014; Sharmila, 2017; Abdullah, 2021). Інші автори повідомили, що амідні, гідроксильні та глікозидні відповідальні за відновлення іонів паладію (Al-Radadi, 2022). Є припущення, що гідроксильні та карбоксильні групи утворюють комплекси з іонами паладію, які далі можуть бути відновлені до елементарного паладію за допомогою альдегідних груп. Після чого наночастинки стабілізуються за допомогою білків і полісахаридів (Kora, 2015; Rokade, 2017). Велику кількість гідроксильних груп містять такі фенольні сполуки, як таніни. Показано можливий механізм реакції утворення PdNPs при взаємодії таніну з іонами паладію, які приймають електрони ароматичного кільця таніну на свої вакантні d-орбіталі і перетворюється на вільні атоми паладію. Після чого відбувається формування наночастинок та їх стабілізація (Olajire, & Mohammed, 2019). Також флавоноїди та інші фітохімічні сполуки можуть брати участь у стабілізації наночастинок і перешкоджають формуванню агрегатів (Akanda, Hasan, Ema, & Aminul Haque, 2021). За ефективну стабілізацію біосинтезованих наночастинок

паладію, отриманих з використанням рослинних екстрактів, також можуть відповідати терпеноїди (Manjare, Pendhari, Badade, Thorate, & Thorate, 2022). Показано, що також цукри та поліоли діють як стабілізатори PdNPs, взаємодіючи з поверхнею наночастинок (Rakibuddin, & Kim, 2018).

**Наночастинки інших благородних металів.** У 2023 р. вперше були отримані наночастинки іридію (IrNPs) з використанням екстракту виноградних вичавок, які є відходом виноробного виробництва. Виноградні вичавки містять велику кількість цукрів, поліфенольних сполук і пігментів, які можуть брати участь у відновленні іонів металів та формуванні наночастинок. Автори дослідили вплив температури екстракції (45, 65, 80 і 100 °C) на вміст загальних фенолів і цукрів в екстракті. Було показано, що з підвищенням температури екстракції їх вміст зростає, що сприяє подальшому біосинтезу наночастинок іридію. Також слід відмітити, що при використанні екстрактів вичавок, отриманих за різних температур, були отримані IrNPs майже однакової форми та розмірів. Тобто температура екстракції не впливала на подальші параметри синтезованих наночастинок. Умови біосинтезу IrNPs були такими: 80 °C, 5 годин. При цьому автори отримали наночастинки іридію сферичної форми з розмірами 3,0—4,5 нм, які показали високу каталітичну активність (Mergola, Carbone, Stomeo, & Del Sole, 2023).

*Murraya koenigii* — вічнозелене дерево карі, що росте у тропічних та субтропічних лісах. З використанням екстрактів листя *Murraya koenigii* були синтезовані моно- та біметалічні наночастинки оксидів металів — іридію (IrO<sub>2</sub>NPs) та іридію-олова (Ir-SnO<sub>2</sub>NPs). Вони мали різну форму та розміри. Так, IrO<sub>2</sub>NPs були кубічної форми з розміром 20 нм, а біметалеві Ir-SnO<sub>2</sub>NPs мали різну форму — псевдосферичну та стрижнеподібну з розмірами 1,23 нм (Goel, & Tomar, 2022).

З використанням водного екстракту листя багаторічної трав'янистої рослини *Gloriosa superba* були синтезовані наночастинки рутенію (RuNPs). Основними компонентами екстракту цієї рослини є холідон, супербін, колхіцин, глоріозол, фітостерил і стигмастерин, які беруть участь у відновленні іонів рутенію, а також формуванні та стабілізації наночастинок. Біосинтез RuNPs здійснювали за таких параметрів: температура 100 °C, тривалість 20 хв. При цьому були отримані сферичні наночастинки в діапазоні розмірів від 25 до 90 нм, які характеризувались антибактеріальною активністю щодо грампозитивних клітин *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* та *Streptococcus pneumoniae* (Gopinath та ін., 2014).

Є дослідження, що стосуються біосинтезу наночастинок оксиду рутенію (RuO<sub>2</sub>NPs) з використанням рослин. Так, Ismail зі співавтор. використовували екстракт листя чагарника *Aspalathus linearis* для біосинтезу RuO<sub>2</sub>NPs. Екстракти містять фенольні сполуки: аспалатин, дигідроалкон, флаволи, флаванони та флавоноли. Біосинтез наночастинок здійснювали при кімнатній температурі упродовж 2 годин. У результаті були отримані сферичні RuO<sub>2</sub>NPs із середнім діаметром 2,15 нм (Ismail, Diallo, Khenfouch, Dhlamini, & Maaza, 2016). В інших дослідженнях для біосинтезу RuO<sub>2</sub>NPs використовували корінь трав'янистої багаторічної рослини *Anacyclus pyrethrum*, екстракт якого містить різноманітні складові. Зокрема, мова йде про наявність жирних кислот, стеролу, ненасичених вуглеводнів, а також пеліторину, анацикліну, фенілетиламіду, інуліну, поліацетиленових амідів I-IV, сезаміну, дубильних речовин та ефірної олії. Є припущення, що ці

фітохімічні речовини можуть брати участь у біовідновленні та стабілізації наночастинок оксиду рутенію (Nisha, Vidyalakshmi, & Razack, 2020). Також сферичні RuO<sub>2</sub>NPs з розмірами 6—25 нм були синтезовані з використанням екстракту листа однорічної трав'янистої рослини *Acalypha indica* за таких параметрів біосинтезу: температура 80 °C, тривалість 2 години. Показано, що наночастинок оксиду рутенію можуть використовуватись як ефективні інгібітори росту та розмноження різних мікроорганізмів. Вони мають антибактеріальну активність щодо грампозитивних і грамнегативних бактерій. Так, біосинтезовані RuO<sub>2</sub>NPs характеризувались антибактеріальною дією щодо *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Serratia marcescens*, *Staphylococcus aureus*. Механізм бактерицидної дії цих наночастинок на сьогодні не дуже відомий. Проте вважається, що RuO<sub>2</sub>NPs після проникнення до бактеріальних клітин інактивують їхні ферменти, в результаті чого пригнічується клітинний метаболізм, що призводить до загибелі мікроорганізму (Kannan, & Sundrarajan, 2015).

### Висновки

Перевагами використання рослин для біосинтезу наночастинок є те, що рослинні екстракти можна приготувати із висушених частин рослин, а також можна висушити самі екстракти, і в подальшому їх розчиняти для самого біосинтезу. Недоліком є те, що склад рослинних екстрактів непостійний. Він залежить від природних умов, місця та часу збору рослинних зразків тощо. Для біосинтезу наночастинок благородних металів (золота, срібла, платини, паладію, рутенію, іридію), крім рослинних екстрактів, можна використовувати рослинні поліфеноли, алкалоїди, камеди та соки, а також ефірні олії. При цьому наявні у екстрактах сполуки (сапоніни, терпеноїди, стероїди, поліоли, поліфеноли, алкалоїди, альдегіди, кетони, білки, цукри) виступають у ролі відновників іонів металів, а також беруть участь у формуванні наночастинок та їх стабілізації.

Синтезовані з використанням рослин наночастинок благородних металів проявляють різні властивості: вони мають протипухлинну, антибактеріальну та протигрибкову дію; доведена їх антиоксидантна та каталітична активність, а також знеболювальна дія. При цьому властивості наночастинок залежать від умов біосинтезу, їх форми та розмірів.

Важливо зазначити, що багато аспектів біосинтезу наночастинок при використанні рослинної сировини залишаються предметом подальших досліджень. Наприклад, механізми біосинтезу наночастинок благородних металів і механізми взаємодії рослинних сполук з іонами металів та їх роль у процесі синтезу до кінця не вивчені. На сьогодні дуже мало досліджень, що стосуються біосинтезу іридію та рутенію з використанням рослин. І нам не вдалось знайти наукових праць, що стосуються біосинтезу таких металів платинової групи, як родій та осмій саме при використанні рослинних компонентів.

### Література

Скороцька, О. І., & Марченко, В. В. (2023). Біосинтез наночастинок благородних металів. Частина 1. Використання грибів, дріжджів та бактерій. *Наукові праці НУХТ*, 29(3), 50—72. doi: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-6.

Скροцька, О. І., Марченко, В. В., & Коваль, Р. В. (2023). Біосинтез наночастинок благородних металів. Частина 2. Використання ціанобактерій водоростей. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 61—84. doi: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-7.

Abdullah, F. O., Behrouzi, L., & Kaboudin, B. (2021). A novel synthesis of highly stable palladium nanoparticles and their application in the reduction of nitroaromatic compounds. *Mater. Res. Exp.*, 8(9), 095002. doi: 10.1088/2053-1591/ac1fb8.

Akanda, R., Hasan, M., Ema, U. H., & Aminul Haque, M. (2021). Optimization of *Spondias mombin* peel extract mediated synthesis of palladium nanoparticles as nanozyme exhibits potent multienzyme activity. *J. Iran Chem. Soc.*, 18(12), 3407—3415. doi: 10.1007/s13738-021-02278-w.

Aktepe, N., & Baran, A. (2021a). Biosynthesis of AgNPs by extract from waste leaves of *Citrullus lanatus* sp. (watermelon); characterization, antibacterial and antifungal effects. *Prog. Nutr.*, 23(3), e2021243. doi: 10.23751/pn.v23i3.11907.

Aktepe, N., & Baran, A. (2021b). Fast and low-cost biosynthesis of AgNPs with almond leaves: medical applications with biocompatible structures. *Prog. Nutr.*, 23(3), e2021271. doi: 10.23751/pn.v23i3.11996.

Ali, S. G., Ansari, M. A., Alzohairy, M. A., Alomary, M. N., AlYahya, S., Jalal, M., ..., El-Meligy, M. A. (2020). Biogenic gold nanoparticles as potent antibacterial and antibiofilm nano-antibiotics against *Pseudomonas aeruginosa*. *Antibiotics*, 9(3), 100. doi: 10.3390/antibiotics9030100.

Al-Radadi, N. S. (2022). *Saussurea costus* for sustainable and eco-friendly synthesis of palladium nanoparticles and their biological activities. *Arab. J. Chem.*, 15(11), 104294. doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104294.

Alshahrani, M. Y., & Ibrahim, E. H. (2022). Gold nanoparticles (AuNPs) and *Rosmarinus officinalis* extract and their potentials to prompt apoptosis and arrest cell cycle in HT-29 colon cancer cells. *J. King. Saud. Univ. Sci.*, 34(8), 102304. doi: 10.1016/j.jksus.2022.102304.

Alshahrani, M. Y., Rafi, Z., Alabdallah, N. M., Shoaib, A., Ahmad, I., Asiri, M., ..., Khan, S. (2021). A comparative antibacterial, antioxidant, and antineoplastic potential of *Rauwolfia serpentina* (L.) leaf extract with its biologically synthesized gold nanoparticles (R-AuNPs). *Plants*, 10(11), 2278. doi: 10.3390/plants10112278.

Anand, K., Tiloke, C., Phulukdaree, A., Ranjan, B., Chuturgoon, A., Singh, S., & Gengan, R. M. (2016). Biosynthesis of palladium nanoparticles by using *Moringa oleifera* flower extract and their catalytic and biological properties. *J. Photochem. Photobiol. B.*, 165, 87—95. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2016.09.039.

Anjana, P. M., Bindhu, M. R., Umadevi, M., & Rakhi, R. B. (2019). Antibacterial and electrochemical activities of silver, gold, and palladium nanoparticles dispersed amorphous carbon composites. *Appl. Surf. Sci.*, 479, 96—104. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.02.057.

Attar, A., & Altikatoglu Yapaöz, M. (2018). Biosynthesis of palladium nanoparticles using *Diospyros kaki* leaf extract and determination of antibacterial efficacy. *Prep. Biochem. Biotechnol.*, 48(7), 629—634. doi: 10.1080/10826068.2018.1479862.

Baran, A., Keskin, C., Baran, M. F., Huseynova, I., Khalilov, R., Eftekhari, A., ..., Kavak, D. E. (2021). Ecofriendly synthesis of silver nanoparticles using ananas comosus fruit peels: anticancer and antimicrobial activities. *Bioinorg. Chem. Appl.*, 2021, 2058149. doi: 10.1155/2021/2058149.

Baran, A., Fırat Baran, M., Keskin, C., Hatipoglu, A., Yavuz, O., Irteğün Kandemir, S., ..., Eftekhari, A. (2022). Investigation of antimicrobial and cytotoxic properties and specification of silver nanoparticles (AgNPs) derived from *Cicer arietinum* L. green leaf extract. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 10, 263. doi: 10.3389/fbioe.2022.855136.

Baran, M. F., Keskin, C., Baran, A., Eftekhari, A., Omarova, S., Khalilov, R., ..., Atalar, M. N. (2023). The investigation of the chemical composition and applicability of gold nanoparticles synthesized with *Amygdalus communis* (Almond) leaf aqueous extract as antimicrobial and anticancer agents. *Molecules*, 28(6), 2428. doi: 10.3390/molecules28062428.

Bawazeer, S., Khan, I., Rauf, A., Aljohani, A. S., Alhumaydhi, F. A., Khalil, A. A., ..., Khan, S. A. (2022). Black pepper (*Piper nigrum*) fruit-based gold nanoparticles (BP-AuNPs): Synthesis, characterization, biological activities, and catalytic applications — A green approach. *Green Process. Synth.*, 11(1), 11—28. doi: 10.1515/gps-2022-0002.

- Bindhu, M. R., & Umadevi, M. (2015). Antibacterial and catalytic activities of green synthesized silver nanoparticles. *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 135, 373—378. doi: 10.1016/j.saa.2014.07.045.
- Datkhile, K. D., Patil, S. R., Durgawale, P. P., Patil, M. N., Hinge, D. D., Jagdale, N. J., ..., More, A. L. (2021). Biogenic synthesis of gold nanoparticles using *Argemone mexicana L.* and their cytotoxic and genotoxic effects on human colon cancer cell line (HCT-15). *J. Genet. Eng. Biotechnol.*, 19, 9. doi: 10.1186/s43141-020-00113-y.
- Dauthal, P., & Mukhopadhyay, M. (2015). Biofabrication, characterization, and possible bio-reduction mechanism of platinum nanoparticles mediated by agro-industrial waste and their catalytic activity. *J. Ind. Eng. Chem.* 22, 185—191. doi: 10.1016/j.jiec.2014.07.009.
- Dobrucka, R., Romaniuk-Drapała, A., & Kaczmarek, M. (2019). Evaluation of biological synthesized platinum nanoparticles using *Ononidis radix* extract on the cell lung carcinoma A549. *Biomed. Microdevices*, 21, 75. doi: 10.1007/s10544-019-0424-7.
- Dobrucka, R. (2016). Synthesis and structural characteristic of platinum nanoparticles using herbal *Bidens tripartitus* extract. *J. Inorg. Organomet. Polym.*, 26, 219—225. doi: 10.1007/s10904-015-0305-3.
- Dzimitrowicz, A., Berent, S., Motyka, A., Jamroz, P., Kurcbach, K., Sledz, W., & Pohl, P. (2019). Comparison of the characteristics of gold nanoparticles synthesized using aqueous plant extracts and natural plant essential oils of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis*. *Arab. J. Chem.*, 12(8), 4795—4805. doi: 10.1016/j.arabjc.2016.09.007.
- Fahmy, S. A., Fawzy, I. M., Saleh, B. M., Issa, M. Y., Bakowsky, U., & Azzazy, H. M. E. S. (2021). Green synthesis of platinum and palladium nanoparticles using Peganum harmala L. seed alkaloids: Biological and computational studies. *Nanomaterials*, 11(4), 965. doi: 10.3390/nano11040965.
- Fanoro, O. T., Parani, S., Maluleke, R., Lebepe, T. C., Varghese, J. R., Mavumengwana, V., & Oluwafemi, O. S. (2021). Facile green, room-temperature synthesis of gold nanoparticles using *Combretum erythrophyllum* leaf extract: antibacterial and cell viability studies against normal and cancerous cells. *Antibiotics*, 10(8), 893. doi: 10.3390/antibiotics10080893.
- Goel, A., & Tomar, S. (2022). Green synthesis and characterization of *Murraya koenigii* leaf extract mediated IrO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, and Ir-SnO<sub>2</sub> nanoparticles. *Inorg. Nano-Met. Chem.* doi: 10.1080/24701556.2022.2034016.
- Gopinath, K., Karthika, V., Gowri, S., Senthilkumar, V., Kumaresan, S., & Arumugam, A. (2014). Antibacterial activity of ruthenium nanoparticles synthesized using *Gloriosa superba L.* leaf extract. *J. Nanostruct. Chem.*, 4, 83. doi: 10.1007/s40097-014-0083-4.
- Hosny, M., Fawzy, M., El-Fakharany, E. M., Omer, A. M., Abd El-Monaem, E. M., Khalifa, R. E., & Eltaweil, A. S. (2022). Biogenic synthesis, characterization, antimicrobial, antioxidant, antidiabetic, and catalytic applications of platinum nanoparticles synthesized from *Polygonum salicifolium* leaves. *J. Environ. Chem. Eng.*, 10(1), 106806. doi: 10.1016/j.jece.2021.106806.
- Ibrahim, H. M. M. (2015). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. *J. Radiat. Res.*, 8(3), 265—275. doi: 10.1016/j.jrras.2015.01.007.
- Iravani, S., & Zolfaghari, B. (2013). Green synthesis of silver nanoparticles using *Pinus eldarica* bark extract. *Biomed Res. Int.*, 2023, 639725. doi: 10.1155/2013/639725.
- Ismail, E., Diallo, A., Khenfouch, M., Dhlamini, S. M., & Maaza, M. (2016). RuO<sub>2</sub> nanoparticles by a novel green process via *Aspalathus linearis* natural extract & their water splitting response. *J. Alloys Compd.*, 662, 283—289. doi: 10.1016/j.jallcom.2015.11.234.
- Jyoti, K., Baunthiyal, M., & Singh, A. (2016). Characterization of silver nanoparticles synthesized using *Urtica dioica* Linn. leaves and their synergistic effects with antibiotics. *J. Radiat. Res.*, 9(3), 217—227. doi: 10.1016/j.jrras.2015.10.002.
- Kalpana, V. N., & Rajeswari, V. D. (2018). Synthesis of palladium nanoparticles via a green route using *Lagenaria siceraria*: assessment of their innate antidandruff, insecticidal and degradation activities. *Mat. Res. Express*, 5(11), 115406. doi: 10.1088/2053-1591/aaddef.

Kannan, S. K., & Sundrarajan, M. (2015). Green synthesis of ruthenium oxide nanoparticles: Characterization and its antibacterial activity. *Adv. Powder Technol.*, 26(6), 1505—1511. doi: 10.1016/j.apt.2015.08.009.

Keskin, C., Baran, A., Baran, M. F., Hatipoglu, A., Adican, M. T., Atalar, M. N., ..., Eftekhari, A. (2022). Green synthesis, characterization of gold nanomaterials using *Gundelia tournefortii* leaf extract, and determination of their nanomedicinal (antibacterial, antifungal, and cytotoxic) potential. *J. Nanomater.*, 2022. doi: 10.1155/2022/7211066.

Ke, Y., Al Aboody, M. S., Alturaiki, W., Alsagaby, S. A., Alfaiz, F. A., Veeraraghavan, V. P., & Mickymaray, S. (2019). Photosynthesized gold nanoparticles from *Catharanthus roseus* induces caspase-mediated apoptosis in cervical cancer cells (HeLa). *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 47(1), 1938—1946. doi: 10.1080/21691401.2019.1614017.

Khan, M., Khan, M., Kuniyil, M., Adil, S. F., Al-Warthan, A., Alkhatlan, H. Z., ..., Siddiqui, M. R. H. (2014). Biogenic synthesis of palladium nanoparticles using *Pulicaria glutinosa* extract and their catalytic activity towards the Suzuki coupling reaction. *Dalton Trans.*, 43(24), 9026—9031. doi: 10.1039/C3DT53554A.

Khatua, A., Prasad, A., Priyadarshini, E., Patel, A. K., Naik, A., Saravanan, M., ..., Meena, R. (2020a). Emerging antineoplastic plant-based gold nanoparticle synthesis: a mechanistic exploration of their anticancer activity toward cervical cancer cells. *J. Clust. Sci.*, 31, 1329—1340. doi: 10.1007/s10876-019-01742-1.

Khatua, A., Priyadarshini, E., Rajamani, P., Patel, A., Kumar, J., Naik, A., ..., Meena, R. (2020b). Phytosynthesis, characterization and fungicidal potential of emerging gold nanoparticles using *Pongamia pinnata* leave extract: a novel approach in nanoparticle synthesis. *J. Clust. Sci.*, 31, 125—131. doi: 10.1007/s10876-019-01624-6.

Khuda, F., Haq, Z. U., Ilahi, I., Ullah, R., Khan, A., Fouad, H., ..., Batiha, G. E. S. (2021). Synthesis of gold nanoparticles using *Sambucus wightiana* extract and investigation of its antimicrobial, anti-inflammatory, antioxidant and analgesic activities. *Arab. J. Chem.*, 14(10), 103343. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103343.

Kora, A. J., & Rastogi, L. (2018). Green synthesis of palladium nanoparticles using gum ghatti (*Anogeissus latifolia*) and its application as an antioxidant and catalyst. *Arab. J. Chem.*, 11(7), 1097—1106. doi: 10.1016/j.arabjc.2015.06.024.

Li, L., Zhang, W., Desikan Seshadri, V. D., & Cao, G. (2019). Synthesis and characterization of gold nanoparticles from *Marsdenia tenacissima* and its anticancer activity of liver cancer HepG2 cells. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 47(1), 3029—3036. doi: 10.1080/21691401.2019.1642902.

Liu, B., Li, C., Han, J., Chen, Y., Zhao, Z., & Lu, H. (2023). Biosynthesized gold nanoparticles using leaf extract of *Citrus medica* inhibit hepatocellular carcinoma through regulation of the Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway. *Arab. J. Chem.*, 16(8), 104800. doi: 10.1016/j.arabjc.2023.104800.

Liu, Y., Kim, S., Kim, Y. J., Perumalsamy, H., Lee, S., Hwang, E., & Yi, T. H. (2019). Green synthesis of gold nanoparticles using *Euphrasia officinalis* leaf extract to inhibit lipopolysaccharide-induced inflammation through NF- $\kappa$ B and JAK/STAT pathways in RAW 264.7 macrophages. *Int. J. Nanomedicine*, 14, 2945. doi: 10.2147/IJN.S199781.

Malaikolundhan, H., Mookkan, G., Krishnamoorthi, G., Matheswaran, N., Alsawalha, M., Veeraraghavan, V. P., ..., Di, A. (2020). Anticarcinogenic effect of gold nanoparticles synthesized from *Albizia lebbek* on HCT-116 colon cancer cell lines. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 48(1), 1206—1213. doi: 10.1080/21691401.2020.1814313.

Manjare, S. B., Pendhari, P. D., Badade, S. M., Thopate, S. R., & Thopate, M. S. (2022). Biosynthesis of palladium nanoparticles from *Moringa oleifera* leaf extract supported on activated bentonite clay and its efficacy towards Suzuki–Miyaura coupling and oxidation reaction. *BioNanoSci.*, 12(3), 785—794. doi: 10.1007/s12668-022-01011-y.

Mergola, L., Carbone, L., Stomeo, T., & Del Sole, R. (2023). Green synthesis of iridium nanoparticles from winery waste and their catalytic effectiveness in water decontamination. *Materials*, 16(5), 2060. doi: 10.3390/ma16052060.

Mubeen, B., Rasool, M. G., Ullah, I., Rasool, R., Imam, S. S., Alshehri, S., ..., Kazmi, I. (2022). Phytochemicals mediated synthesis of AuNPs from *Citrullus colocynthis* and their characterization. *Molecules*, 27(4), 1300. doi: 10.3390/molecules27041300.

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.

Nisha, B., Vidyalakshmi, Y., & Razack, S. A. (2020). Enhanced formation of ruthenium oxide nanoparticles through green synthesis for highly efficient supercapacitor applications. *Adv. Powder Technol.*, 31(3), 1001—1006. doi: 10.1016/j.apt.2019.12.026.

Olajire, A. A., & Mohammed, A. A. (2019). Green synthesis of palladium nanoparticles using *Ananas comosus* leaf extract for solid-phase photocatalytic degradation of low density polyethylene film. *J. Environ. Chem. Eng.*, 7(4), 103270. doi: 10.1016/j.jece.2019.103270.

Othman, H., Rahman, H., Mohan, S., Aziz, S., Marif, H., Ford, D., ..., Abdullah, R. (2020). Antileukemic effect of palladium nanoparticles mediated by white tea (*Camellia sinensis*) extract in vitro and in wehi-3b-induced leukemia *in vivo*. *Evid. Based. Complement. Alternat. Med.*, 2020. doi: 10.1155/2020/8764096.

Oueslati, M. H., Ben Tahar, L., & Harrath, A. H. (2020). Synthesis of ultra-small gold nanoparticles by polyphenol extracted from *Salvia officinalis* and efficiency for catalytic reduction of p-nitrophenol and methylene blue. *Green Chem. Lett. Rev.*, 13(1), 18—26. doi: 10.1080/17518253.2019.1711202.

Pathania, D., Sharma, M., Thakur, P., Chaudhary, V., Kaushik, A., Furukawa, H., & Khosla, A. (2022). Exploring phytochemical composition, photocatalytic, antibacterial, and antifungal efficacies of Au NPs supported by *Cymbopogon flexuosus* essential oil. *Sci. Rep.*, 12(1), 14249. doi: 10.1038/s41598-022-15899-9.

Patil, M. P., Jin, X., Simeon, N. C., Palma, J., Kim, D., Ngabire, D., ..., Kim, G. D. (2018). Anti-cancer activity of *Sasa borealis* leaf extract-mediated gold nanoparticles. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 46(1), 82—88. doi: 10.1080/21691401.2017.1293675.

Patil, M. P., Seo, Y. B., Lim, H. K., & Kim, G. D. (2019). Biofabrication of gold nanoparticles using *Agrimonia pilosa* extract and their antioxidant and cytotoxic activity. *Green Chem. Lett. Rev.*, 12(3), 208—216. doi: 10.1080/17518253.2019.1623927.

Rabiee, N., Bagherzadeh, M., Kiani, M., & Ghadiri, A. M. (2020). *Rosmarinus officinalis* directed palladium nanoparticle synthesis: investigation of potential anti-bacterial, anti-fungal and Mizoroki-Heck catalytic activities. *Adv. Powder Technol.*, 31(4), 1402—1411. doi: 10.1016/j.apt.2020.01.024.

Rakibuddin, M., & Kim, H. (2018). Facile green syntheses of palladium nanoparticles using fruit and aloe vera juices, and their surface-enhanced Raman scattering (SERS) activities. *Mat. Res. Express*, 5(8), 085001. doi: 10.1088/2053-1591/aad0db.

Ramachandiran, D., Elangovan, M., & Rajesh, K. (2021). Structural, optical, biological and photocatalytic activities of platinum nanoparticles using *Salix tetrasperma* leaf extract via hydrothermal and ultrasonic methods. *Optik*, 244, 167494. doi: 10.1016/j.ijleo.2021.167494.

Rokade, S. S., Joshi, K. A., Mahajan, K., Tomar, G., Dubal, D. S., Singh, V., ..., Ghosh, S. (2017). Novel anticancer platinum and palladium nanoparticles from *Barleria prionitis*. *Glob. J. Nano.*, 2(5), 555600. doi:10.19080/GJN.2017.02.555600.

Sabapathi, N., Ramalingam, S., Aruljothi, K. N., Lee, J., & Barathi, S. (2023). Characterization and therapeutic applications of biosynthesized silver nanoparticles using *Cassia auriculata* flower extract. *Plants*, 12(4), 707. doi: 10.3390/plants12040707.

Sadalage, P. S., Dar, M. A., Bhor, R. D., Bhalerao, B. M., Kamble, P. N., Paiva-Santos, A. C., ..., Pawar, K. D. (2022). Optimization of biogenic synthesis of biocompatible platinum nanoparticles with catalytic, enzyme mimetic and antioxidant activities. *Food Biosci.*, 50, 102024. doi: 10.1016/j.fbio.2022.102024.

Sahin, B., Aygun, A., Gunduz, H., Sahin, K., Demir, E., Akocak, S., & Sen, F. (2018). Cytotoxic effects of platinum nanoparticles obtained from pomegranate extract by the green synthesis method on the MCF-7 cell line. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 163, 119—124. doi: 10.1016/j.colsurfb.2017.12.042.

Sharma, M., Thakur, P., Saini, R. V., Kumar, R., & Torino, E. (2020). Unveiling antimicrobial and anticancerous behavior of AuNPs and AgNPs moderated by rhizome extracts of *Curcuma longa* from diverse altitudes of Himalaya. *Sci. Rep.*, 10(1), 10934. doi: 10.1038/s41598-020-67673-4.

Sharmila, G., Fathima, M. F., Haries, S., Geetha, S., Kumar, N. M., & Muthukumaran, C. (2017). Green synthesis, characterization and antibacterial efficacy of palladium nanoparticles synthesized using *Filicium decipiens* leaf extract. *J. Mol. Struct.*, 1138, 35—40. doi: 10.1016/j.molstruc.2017.02.097.

Shirzadi-Ahodashi, M., Mizwari, Z. M., Mohammadi-Aghdam, S., Ahmadi, S., Ebrahimzadeh, M. A., & Mortazavi-Derazkola, S. (2023). Optimization and evaluation of anticancer, antifungal, catalytic, and antibacterial activities: Biosynthesis of spherical-shaped gold nanoparticles using *Pistacia vera* hull extract (AuNPs@ PV). *Arab. J. Chem.*, 16(1), 104423. doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104423.

Singh, L., Antil, R., & Dahiya, P. (2021). Antimicrobial and antioxidant potential of *Vernonia cinerea* extract coated AuNPs. *Indian J. Microbiol.*, 61, 506—518. doi: 10.1007/s12088-021-00976-w.

Sun, B., Hu, N., Han, L., Pi, Y., Gao, Y., & Chen, K. (2019). Anticancer activity of green synthesised gold nanoparticles from *Marsdenia tenacissima* inhibits A549 cell proliferation through the apoptotic pathway. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 47(1), 4012—4019. doi: 10.1080/21691401.2019.1575844.

Velidandi, A., Sarvepalli, M., Pabbathi, N. P. P., & Baadhe, R. R. (2021). Biogenic synthesis of novel platinum-palladium bimetallic nanoparticles from aqueous *Annona muricata* leaf extract for catalytic activity. *3 Biotech*, 11(8), 385. doi: 10.1007/s13205-021-02935-0.

Wang, L., Xu, J., Yan, Y., Liu, H., Karunakaran, T., & Li, F. (2019). Green synthesis of gold nanoparticles from *Scutellaria barbata* and its anticancer activity in pancreatic cancer cell (PANC-1). *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 47(1), 1617—1627. doi: 10.1080/21691401.2019.1594862.

Wu, T., Duan, X., Hu, C., Wu, C., Chen, X., Huang, J., ..., Cui, S. (2019). Synthesis and characterization of gold nanoparticles from *Abies spectabilis* extract and its anticancer activity on bladder cancer T24 cells. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 47(1), 512—523. doi: 10.1080/21691401.2018.1560305.

## IMPROVING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF DISTILLATION EQUIPMENT BY OPTIMISING THE OPERATION OF HEAT-EXCHANGE EQUIPMENT

Y. Bulii, A. Kuts, A. Forsiuk, Y. Zaporozhets

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Distillation unit  
Impurity concentration  
column  
Dephlegmator  
Condenser  
Alcohol  
Vapour  
Alcohol-containing  
fractions*

---

**Article history:**

Received 03.10.2023  
Received in revised form  
16.10.2023  
Accepted 03.11.2023

---

**Corresponding author:**

Y. Bulii

**E-mail:**

yvbuliy@gmail.com

**Citation:** Ю. В. Булій, А. М. Куц, А. В. Форсюк, Ю. В. Запорожець (2023). Підвищення експлуатаційних характеристик брагоректифікаційних установок шляхом оптимізації роботи теплообмінного обладнання. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 46—56. DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-5

---

**ABSTRACT**

Methods for obtaining rectified alcohol in the distillation units equipped with a impurity concentration column, provided for the introduction of alcohol-containing intermediates and by-products in the form of vapour condensate with a temperature of 25—30 °C on the feed plate are known. For effective extraction and concentration of volatile impurities the additional vapour flow rate from 2.56 to 3.59 kg/dal of anhydrous alcohol introduced into the column (by 28.7%) is a necessary condition.

In order to optimize the operation of the unit, it was proposed to feed the column plate with alcohol-containing fractions in the form of vapour, not condensed in the carbon dioxide separator, deflegmators of the distillation, epuration (head fraction) and alcohol column (unpasteurized alcohol), as well as the fusel fraction and fusel alcohol in a vaporous state. The study of the efficiency of the innovative method was carried out in production conditions in two stages. At the first stage, 2% of non-condensed steam in deflegmators was fed to the dispersal column, at the second stage — 5%.

Calculation of water consumption for cooling of heat-exchange equipment and vapour was made in recalculation per 1 dal of anhydrous alcohol introduced into the column. It was found that the technical solution allows to reduce the total water consumption by 0.032 m<sup>3</sup>/dal (5.1%), and vapour by 1.2 kg/dal (1.9%) compared to the known method. At the same time qualitative indicators of rectified ethyl alcohol corresponded to normative indicators for alcohol of "Lux" grade.

When supplying vapour streams to feed the impurity concentration column the profit for the plant with a capacity of 3000 dal of alcohol per day will be about 1.5 million UAH per year. Increasing the amount of non-condensed steam in the dephlegmators of the main columns from 2 to 5% to feed the column allows to reduce steam consumption from 10 to 8.8 kg/dal, and increase the profit by 33.3%.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ТЕПЛОБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ

Ю. В. Булій, А. М. Куц, А. В. Форсюк, Ю. В. Запорожець  
Національний університет харчових технологій

Відомі способи отримання ректифікованого спирту в брагоректифікаційних установках, оснащених розгінною колоною, передбачають введення на її тарілку живлення спиртовмісних напівпродуктів і побічних продуктів у вигляді конденсату пари з температурою 25—30 °С. Для ефективного виділення і концентрування легких домішок необхідною умовою є збільшення витрати пари від 2,56 до 3,59 кг/кг безводного спирту, введеного в колону (на 28,7%).

З метою оптимізації роботи установки запропоновано подавати на тарілку живлення розгінної колони спиртовмісні фракції у вигляді пари, що не сконденсувалася в сепараторі вуглекислого газу, дефлегматорах бражної, епюраційної (головну фракцію) і спиртової колон (непастеризований спирт), а також сивушну фракцію і сивушний спирт у пароподібному стані. Дослідження ефективності інноваційного способу проводили у виробничих умовах у два етапи. На першому етапі в розгінну колону подавали 2% несконденсованої у дефлегматорах пари, на другому етапі — 5%.

Розрахунок витрати води на охолодження теплообмінного обладнання і пари проводили в перерахунку на 1 дал безводного спирту, введеного в колону. Встановлено, що технічне рішення дає змогу зменшити загальні витрати води на 0,032 м<sup>3</sup>/дал (5,1%), а пари — на 1,2 кг/дал (1,9%) порівняно з відомим способом. При цьому якісні показники спирту етилового ректифікованого відповідали нормативним показникам для спирту сорту «Люкс».

У разі подачі парових потоків для живлення розгінної колони прибуток для заводу потужністю 3000 дал спирту на добу становитиме близько 1,5 млн грн на рік. Збільшення кількості несконденсованої пари в дефлегматорах основних колон від 2 до 5% для живлення колони дає змогу зменшити витрату пари від 10 до 8,8 кг/дал, а прибуток збільшити на 33,3%.

**Ключові слова:** брагоректифікаційна установка, розгінна колона, дефлегматор, конденсатор, спирт, пара, спиртовмісні фракції.

**Постановка проблеми.** В умовах зростаючих цін на енергоносії актуальним завданням є розроблення і впровадження ресурсо- та енергозберігаючих технологій ректифікації етилового спирту, які дають змогу зменшити витрати води і пари та збільшити вихід готового продукту з 1 т умовного крохмалю. Для його вирішення збільшують кількість тарілок у колонах, використовують тепло барди і лютерної води, закритий обігрів колон, впроваджують брагоректифікаційні установки (БРУ), які працюють під розрідженням або передбачають обігрів одних колон вторинною парою високого потенціалу інших колон, що працюють під тиском,

оснащують установки розгінною та сивушною колонами (Шиян, Сосницький, & Олійничук, 2009; Liaposhchenko та ін., 2021). Перспективним напрямком є використання колонних масообмінних апаратів циклічної дії (Булій, Куц, Юрик, & Форсюк, 2021; Kiss, A. 2015).

У типових установках водно-спиртові пари з верхньої частини бражної, епо-раційної і спиртової колон надходять у міжтрубний простір відповідних дефлегматорів, де конденсуються переважно висококиплячі леткі компоненти — вода, складні етери та вищі спирти сивушного масла, температура кипіння яких становить 102—138 °С. Пара, що містить низькокиплячі леткі компоненти (метиловий спирт, температура кипіння якого становить 64,3 °С, етери та альдегіди, температура кипіння яких нижча за температуру кипіння етилового спирту — 78,3 °С) і не сконденсувалася в дефлегматорі, надходить у конденсатор для подальшої її конденсації (Маринченко та ін., 2003).

У труби конденсаторів і дефлегматорів протитоком з парою подають холодну воду. У разі включення в технологічну схему спиртовловлювачів вода на охолодження послідовно проходить через труби спиртовловлювачів, конденсаторів і дефлегматорів. У зимовий період температура води на вході в конденсатори, зазвичай, становить 10—12 °С, а в літній — 20—25 °С. Температура води на виході після дефлегматорів становить 65—73 °С. Після конденсації пари в конденсаторі температура води підвищується в середньому на 2—3 °С. Витрати води значною мірою залежать від її температури, площі поверхні теплопередачі, ступеня її забруднення, а також від схеми підведення води до теплообмінного обладнання (Українець, Шиян, & Сизько, 2010).

Найчастіше продуктивність БРУ знижується влітку. Це пояснюється недостатньою подачею води на охолодження навіть при повністю відкритій запірній арматурі або недостатньою площею поверхні теплопередачі дефлегматорів. У першому випадку необхідно збільшувати переріз трубопроводів підводу води, у другому — передбачити збільшену проти розрахункової площі поверхні теплопередачі дефлегматорів щонайменше на 20% для запобігання втрат спирту з неконденсованими газами. У разі недостатньої кількості води доцільно використовувати градирні, повітряні конденсатори, а влітку пароежекторні, абсорбційні або компресійні холодильні машини. Всі вищенаведені способи потребують додаткових енерговитрат.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням оптимізації роботи теплообмінного обладнання і БРУ присвячена значна кількість наукових праць (Українець, Шиян, & Сосницький, 2006; Марценюк, Малезик, & Зоткіна, 2019). Одними із факторів оптимізації є відповідність поверхні теплопередачі дефлегматорів і конденсаторів їх тепловому навантаженню, а також способи їх приєднання до водяної комунікації. В розрахунках поверхні теплопередачі дефлегматора теплове навантаження визначається за кількістю тепла, яке виділилось під час конденсації спиртової пари, що утворює флегму. Практично ця величина становить 98—99,5%. На частку конденсатора залишається не більше 2—0,5% пари.

Як конденсатори використовують вертикальні кожухотрубні теплообмінники. Відомі випадки використання горизонтальних багатоходових (по пару і воді)

конденсаторів, які встановлюють безпосередньо над дефлегматорами. До недавніх часів широко застосовувались мідні одноходові конденсатори. Сучасні БРУ оснащені конденсаторами, виготовленими з нержавіючої сталі марки 08X12Н10, 10X12Н10Т (АІSІ 304), всередині яких у трубних решітках ввальцьовані або приварені труби діаметром 25—38 мм довжиною 1,5—3 м. Діаметр кожуха конденсатора дорівнює 300—800 мм.

Із практичного досвіду відомо, що в підігрівачі бражки установки непрямої дії конденсується 80—90% пари, що виходить з бражної колони. Решта пари конденсується в її конденсаторі. Теплове навантаження на конденсатори епіюраційної, спиртової, розгінної колон і колони кінцевого очищення незначне: в них конденсується 0,5—2% пари. В конденсаторі сивушної колони конденсується 1/5—1/6 частина пари, що виходить із колони (Цыганков, 2010).

Існують різні способи приєднання дефлегматорів і конденсаторів БРУ до продуктової і водяної комунікацій (Малежик, 2003). У більшості випадків на заводах використовують схему послідовного приєднання (рис. 1).

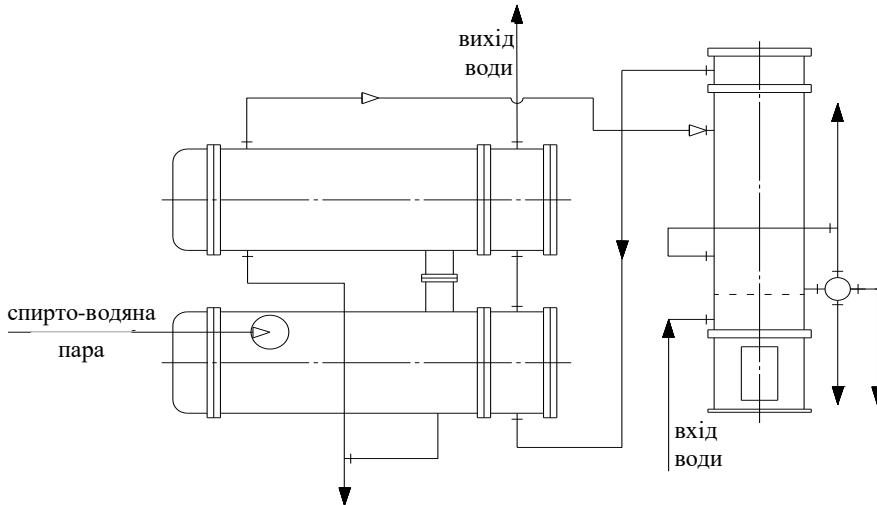


Рис. 1. Схема послідовної подачі води з конденсатора в барабани дефлегматора

Згідно зі схемою спирто-водяна пара і вода на охолодження надходять у нижній барабан дефлегматора, а відводяться з верхнього. Недоліком такої схеми є зменшення інтенсивності процесу теплообміну в напрямку руху води від барабана до барабана: корисна різниця температур між парою і водою в другому барабані буде значно меншою, ніж у першому через те, що в другий барабан надходить підігріта в першому барабані вода. Щоб зберегти постійну швидкість пари й уникнути зниження коефіцієнта теплопередачі, необхідно зменшувати розміри барабанів в напрямку руху пари.

Істотні переваги має паралельне приєднання барабанів дефлегматора до водяної комунікації (рис. 2). За цієї схеми корисна різниця температур між спирто-водяною парою і водою в барабанах дефлегматора приблизно однакова і достатньо велика, тому процес конденсації пари досить інтенсивний у кожному барабані.

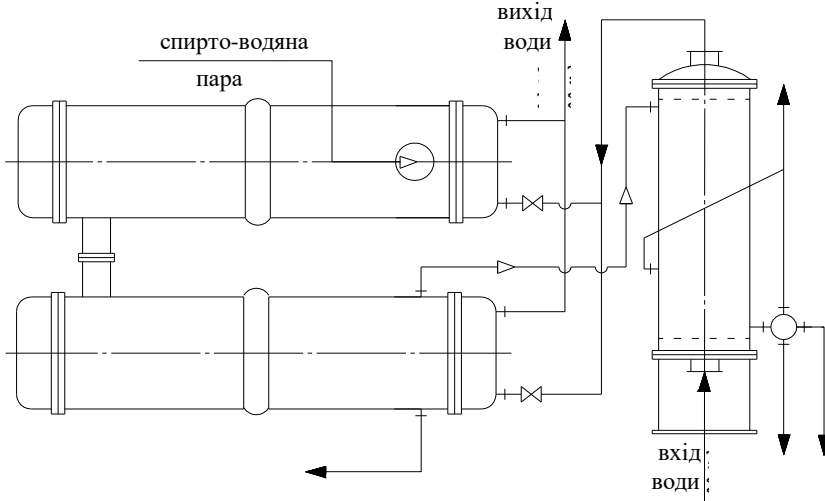


Рис. 2. Схема паралельної подачі води з конденсатора в барабани дефлегматора

На спиртових заводах використовують схему роздільної подачі води на охолодження конденсатора і дефлегматора. Такий спосіб дає змогу регулювати і підтримувати задану швидкість руху води й температуру як в конденсаторі, так і в дефлегматорі, а також регулювати кількість флегми в дефлегматорі та конденсату в конденсаторі. Спосіб виключає рециркуляцію летких домішок і можливість їх накопичування в бражі та еспораті.

Найбільш раціональною схемою приєднання дефлегматорів є протитоківна схема з введенням спирто-водної пари у верхній барабан дефлегматора, а води — в нижній. Для оптимізації роботи теплообмінного обладнання вагоме значення мають схеми з'єднання дефлегматорів і вертикальних конденсаторів БРУ. На більшості спиртових заводів використовується схема, за якої спирто-водяна пара з дефлегматора надходить у верхню частину міжтрубного простору конденсатора, а несконденсовані гази відводяться у спиртоуловлювач з нижньої частини конденсатора (рис. 1, 2). Згідно з іншим способом спирто-водяна пара з дефлегматора надходить у середню частину конденсатора, а несконденсовані гази відводяться з верхньої частини конденсатора (рис. 3).

Другий спосіб слід вважати більш ефективним. Через те, що густина спирто-водної пари, що надходить у конденсатор, за підвищеного вмісту спирту є вищою за густину повітря, то повітря збиратиметься переважно у верхній частині конденсатора, звідки його відводять. Ту ж частину повітря, яка потрапляє в нижню частину конденсатора, відводять через штуцер для виходу несконденсованих газів (Малежик, 2003).

Для підвищення експлуатаційних характеристик БРУ в НУХТ розроблена інноваційна технологія ректифікації спирту, яка передбачає живлення розгінної колони спиртовмісними фракціями у пароподібному стані: парою, яка надходить із сепаратора вуглекислого газу, а також парою, що не сконденсувалася в дефлегматорах бражної, еспоратної та спиртової колон.

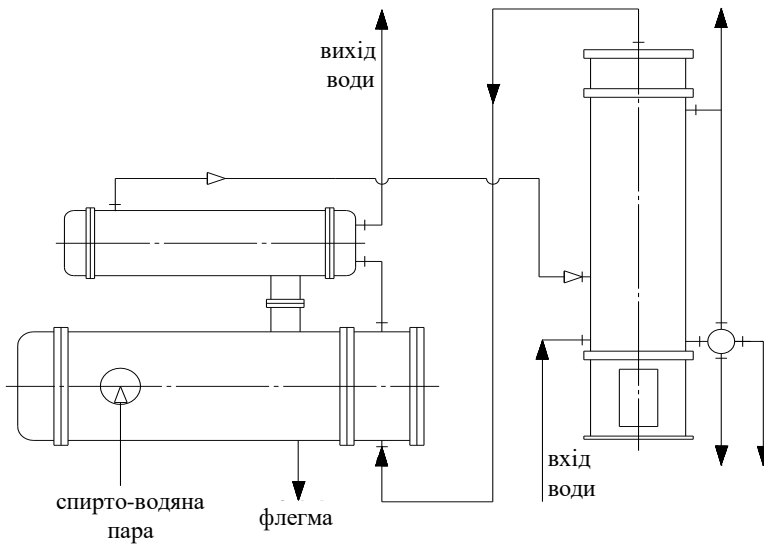


Рис. 3. Схема приєднання продуктивних і водяних комунікацій до барабанів дефлегматора і конденсатора

**Мета статті:** дослідження ефективності інноваційної технології ректифікації етилового спирту у виробничих умовах: визначення витрати води на охолодження дефлегматорів бражної, еспораційної, спиртової та розгінної колон, витрати пари у колонах БРУ; розрахунок очікуваної економічної ефективності.

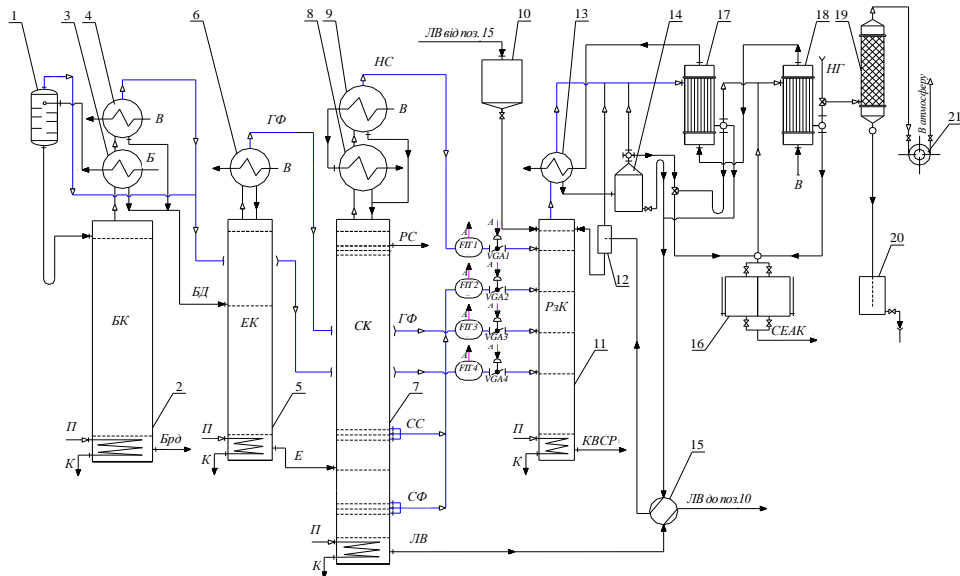
**Матеріали і методи.** Методи досліджень — аналітичні, розрахункові, фізико-хімічні та хроматографічні з використанням приладів і методики досліджень, що застосовуються у виробництві спирту етилового ректифікованого (Янчевський, Ковальчук, Кравчук, Попова, & Олійник, 1999; Plutowska, & Wardenski, 2008). Витрати води контролювали за допомогою витратомірів постійного перепаду тиску РМ (Полулях, & Тополов, 2012), вторинної пари — за допомогою витратомірів TVA (Бондаренко, Складанний, & Абрамова, 2020).

**Викладення основних результатів дослідження.** Відомі способи отримання ректифікованого спирту в БРУ, оснащених розгінною колоною (РзК), передбачають введення на її тарілку живлення спиртовмісних напівпродуктів і побічних продуктів у вигляді конденсату пари з температурою 25—30 °С із спиртовловлювачів, конденсатора сепаратора вуглекислого газу, конденсаторів бражної, еспораційної і спиртової колон, а також конденсату парів сивушної фракції і сивушного спирту (Міщенко, Кизюн, Можаровська, & Олійник 2020). Для ефективного виділення і концентрування легких домішок спирту в РзК необхідною умовою є додаткові витрати тепла на їх нагрівання до температури 75—80 °С, що відповідає температурі на тарілці живлення, а також збільшення витрати гріючої пари від 2,56 до 3,59 кг/кг безводного спирту (б.с.), введеного в колону (на 28,7%) (Шиян, Сосницький, & Олійнічук, 2009).

Для оптимізації роботи БРУ авторами запропоновано подавати на тарілку живлення РзК спиртовмісні фракції у пароподібному стані — у вигляді пари, що не

сконденсувалася в сепараторі вуглекислого газу, дефлегматорах бражної, епіюраційної (головну фракцію) і спиртової колон (непастеризований спирт), а також пари сивушної фракції і сивушного спирту. Технічне рішення виключає необхідність додаткової витрати гріючої пари на попереднє нагрівання і догрівання цих фракцій до температури кипіння для їх випаровування в РзК. Для подачі фракцій живлення у вигляді пари різниця тисків у місцях їх відбору і вводу в колону повинна становити 0,1—5 м вод. ст. (патент України 126533. Спосіб отримання ректифікованого спирту).

Дослідження ефективності запропонованого способу проводились у виробничих умовах ДП «Чуднівський спиртовий завод». Апаратурно-технологічна схема ресурсо- та енергозберігаючої БРУ з використанням інноваційного способу представлена на рис. 4.



**Рис. 4. Ресурсо- та енергозберігаюча БРУ з потоками живлення розгінної колони у пароподібному стані:**

1 — сепаратор вуглекислого газу, 2 — бражна колона, 3 — підігрівач бражки, 4, 6, 8, 9, 13 — дефлегматори; 5 — спиртова колона; 7 — спиртова колона; 10 — напірний збірник лютерної води, 11 — розгінна колона, 12 — сепаратор флегми, 14 — декантатор; 15 — теплообмінник; 16 — збірник СЕАК; 17 — конденсатор розгінної колони; 18 — спиртовловлювач; 19 — барометричний конденсатор; 20 — барометричний ящик; 21 — вакуум-насос  
 Умовні позначення: БК — бражна колона; Б — бражка; БД — бражний дистилат; БрД — барда; В — вода на охолодження; ГФ — головна фракція спирту етилового; ЕК — епіюраційна колона; ЛВ — лютерна вода; СЕАК — сивушно-естеро-альдегідний концентрат; СС — сивушний спирт; СФ — сивушна фракція; РзК — розгінна колона; РС — ректифікований спирт; КВСП — кубова водно-спиртова рідина; К — конденсат; П — пара.

Установка працює таким чином: дозріла спиртова бражка (Б) спочатку надходила у бражний підігрівач 3, в якому підігрівалася водно-спиртовою парою з бражної колони (БК) 2 до температури 70—85 °С, далі в сепаратор 1 для звільнення від вуглекислого газу та інших несконденсованих газів, після чого поступала на тарілку живлення БК 2. В сепараторі 1 разом з несконденсованими газами

виноситься певна кількість спирту. Для його вилучення пару з верхньої частини сепаратора 1 спрямовували в концентраційну частину РзК 11 через витратомір F1T4 й аналогову заслінку VGA4. У нижні частини БК 2, ЕК 5, СК 7 і РзК 11 безперервно подавали гріючу пару (П). Із кубової частини БК 2 виводили звільнену від спирту і летких домішок барду (Брд). В труби дефлегматорів 4, 6, 8, 9, 13, конденсатора 17 і спиртовловлювача 18 подавали воду на охолодження. Конденсат водно-спиртової пари із підігрівача 3 і водяної секції дефлегматора 4 подавали у верхню частину ЕК 5. Звільнений від головних (етерів та альдегідів), частини верхніх проміжних (вищих спиртів сивушного масла) і кінцевих (метилового спирту) домішок спирту бражний дистилят — епюрат (Е) подавали на живлення СК 7. Несконденсовані в дефлегматорі 6 низькокиплячі пари головної фракції (ГФ) спрямовували через витратомір F1T3 і аналогову заслінку VGA3 в концентраційну частину РзК 11. В СК 7 відбувалася очистка етилового спирту від проміжних і кінцевих домішок та його концентрування. Ректифікований (пастеризований) спирт (РС) відбирали з 5, 7 та 10-ї тарілок, рахуючи зверху СК 7. Проміжні домішки виводили із цієї колони у вигляді двох продуктів: сивушної фракції (СФ), яку відбирали з парового простору 5, 7, 9 та 11-ї тарілок, рахуючи знизу колони, і сивушного спирту (СС), який відбирали із парового простору 17—20 та 25-ї тарілок, рахуючи знизу. Для вилучення етилового спирту пари СФ і СС спрямовували в концентраційну частину РзК 11 через витратомір F1T2 й аналогову заслінку VGA2. Низькокиплячі водно-спиртові пари, що містили головні та кінцеві домішки, які не сконденсувалися в дефлегматорах 8 і 9, через витратомір F1T1 й аналогову заслінку VGA1 спрямовували у верхню зону концентраційної частини РзК 11. Вищевказані витратоміри і заслінки були встановлені на відповідних парових трубопроводах. Керування роботою заслінок відбувалося за допомогою аналогового сигналу (А), який надходив від контролера. Для подачі несконденсованих парів із сепаратора 1, дефлегматорів 4, 6, 9 і парів СФ та СС в РзК 11 різниця тисків в місцях їх відбору і введення в колону становила 0,5—1 м вод. ст. Для забезпечення такого режиму РзК 11 працювала під розрідженням, яке підтримувалось за допомогою вакуум-насоса 21 і барометричного конденсатора 19 з барометричним ящиком 20.

Для проведення гідроселекції на верхню тарілку РзК 11 з напірного збірника 10 безперервно надходила лютерна вода (ЛВ) з температурою 90—95 °С в такій кількості, щоб концентрація спирту в кубовій рідині становила 4—8% об. В РзК 11 спиртовмісні пари побічних продуктів і напівпродуктів брагоректифікації розділялися на два потоки: верхній, збагачений головними (складні етери, альдегіди) і проміжними (вищі спирти СФ і СС, у тому числі С<sub>3</sub>, С<sub>4</sub>, С<sub>5</sub>), домішками спирту, та нижній — кубову водно-спиртову суміш, звільнену від них. Пара, яка виходила із верхньої частини колони, конденсувалася в дефлегматорі 13, з якого її конденсат самопливом надходив у декантатор 14. У декантаторі гетерогенна суміш розшаровувалась на сивушно-ефіроальдегідний концентрат (СЕАК), який відбирали з верхньої частини декантатора, і збагачений водою нижній шар, який спрямовували на верхню тарілку РзК 11 у вигляді флегми на зрошення. Флегму попередньо підігрівали теплом ЛВ в теплообміннику 15 до температури 90—95 °С, яка відповідала температурі на верхній тарілці колони 11, і пропускали через сепаратор 12 для відділення газів. Вихід СЕАК становив близько 0,4—0,5% від введеного в БК

2 спирту. Кубову водно-спиртову рідину (КВСП), звільнену від головних, проміжних і частини кінцевих домішок, безперервно виводили із нижньої частини РзК 11 і далі подавали на верхню тарілку БК 2.

Тиск води в робочому колекторі становив 25 м вод. ст. і забезпечував подачу води у поверхні теплообміну та задану швидкість води в трубах теплообмінників. Для розрахунків приймали температуру води на вході в дефлегматори рівною 20 °С, на виході — 70 °С.

На першому етапі проводили дослідження ефективності відомого способу — типової ректифікації, згідно з яким у дефлегматорах основних колон конденсувалося 98% від кількості пари, що виходила з верхньої частини кожної колони. Несконденсовану пару подавали в їхні конденсатори, з яких конденсат пари в кількості 2% направляли на тарілку живлення РзК. На другому етапі досліджували ефективність інноваційної технології за двома способами. За способом I на тарілку живлення РзК подавали не конденсат пари, а несконденсовану в сепараторі вуглекислого газу і дефлегматорах основних колон пару в кількості 2%. За способом II витрати води на охолодження дефлегматорів зменшували таким чином, що в дефлегматорах конденсувалося 95% пари від кількості пари, що виходила з кожної колони, а на тарілку живлення РзК подавали несконденсовану в них пару в кількості 5%. Під час досліджень контролювали якість отриманого спирту етилового ректифікованого. Витрати води і гріючої пари перераховували на 1 дал б. с. Результати досліджень наведені в таблиці.

**Витрати води (*W*) і пари (*P*) на БРУ непрямої дії, оснащеної розгінною колоною**

Колони БРУ	<i>W</i> , м <sup>3</sup> /дал б.с.			<i>P</i> , кг/дал б.с.		
	відомий спосіб	інноваційний		відомий спосіб	інноваційний	
		спосіб I	спосіб II		спосіб I	спосіб II
Бражна	0,065	0,064	0,062	20	20	20
Епораційна	0,154	0,151	0,146	12	12	12
Спиртова	0,282	0,276	0,268	22	22	22
Розгінна	0,128	0,125	0,121	10	9,1	8,8
БРУ	0,629	0,616	0,597	64	63,1	62,8

Із таблиці видно, що використання способу I дало змогу зменшити загальні витрати води на охолодження на 0,013 м<sup>3</sup>/дал б. с. (2,1%), а витрати пари в РзК — на 0,9 кг/дал б.с. (1,4%). За способом II витрати води зменшились на 0,032 м<sup>3</sup>/дал б. с. (5,1%), а пари — на 1,2 кг/дал б. с. (1,9%). При цьому спирт етиловий ректифікований за своїми якісними показниками відповідав нормативним показникам спирту сорту «Люкс» згідно з ДСТУ 4221:2003.

Прибуток (*П*) від впровадження інноваційної технології розраховували для спиртового заводу середньої потужності (3000 дал спирту на добу) за формулою:

$$P = (P_e - P_i) \cdot N \cdot n \cdot k \cdot B \text{ (грн/рік)},$$

де  $P_e$  — витрати пари згідно з відомим способом, кг/дал б. с.;

$P_i$  — витрати пари згідно з інноваційним способом, кг/дал б. с.;

$N$  — потужність спиртового заводу, дал/добу;

$n$  — кількість робочих днів на рік;

$k$  — коефіцієнт для перерахунку витрати природного газу для отримання пари, м<sup>3</sup>/кг;

$B$  — вартість природного газу для промислових підприємств, грн/м<sup>3</sup> з ПДВ.

За умови використання способу I прибуток становить:

$$П = (64 - 63,1) \cdot 3000 \cdot 330 \cdot 0,08 \cdot 20,3 = 1446984 \text{ грн/рік.}$$

За умови використання способу II прибуток становить:

$$П = (64 - 62,8) \cdot 3000 \cdot 330 \cdot 0,08 \cdot 20,3 = 1929312 \text{ грн/рік.}$$

## **Висновки**

1. Використання інноваційної технології ректифікації етилового спирту дасть змогу оптимізувати роботу теплообмінного обладнання і розгінної колони шляхом подачі на її тарілку живлення спиртовмісних фракцій у вигляді пари.

2. Організація парових потоків живлення розгінної колони призводить до зменшення загальних витрат води на охолодження на 0,013 м<sup>3</sup>/дал б. с. (2,1%) і пари на 0,9 кг/дал б. с. (1,4%). За обраного способу прибуток для заводу потужністю 3000 дал спирту на добу становитиме близько 1,5 млн грн на рік.

3. У разі збільшення об'ємів спиртовмісної пари шляхом збільшення кількості несконденсованої пари в дефлегматорах основних колон від 2 до 5% витрати води зменшуються на 0,032 м<sup>3</sup>/дал б. с. (5,1%), а пари на 0,9 кг/дал б. с. (1,9%). За такого режиму роботи установки прибуток для заводу потужністю 3000 дал спирту на добу збільшується на 33,3% порівняно зі способом I.

4. Під час використання відомого та дослідження інноваційних способів ректифікації спирт етиловий ректифікований за своїми якісними показниками відповідав вимогам ДСТУ 4221:2003 для спирту сорту «Люкс».

5. Відсутність у технологічній схемі конденсаторів основних колон і спиртовловлювачів дає змогу зменшити металоємність БРУ на 10%.

Враховуючи отримані позитивні результати, доцільним є продовження досліджень у цьому напрямку. Перспективними є дослідження ефективності роботи РзК та інших колон БРУ за умови збільшення об'ємів спиртовмісних парів, які надходять на їхні тарілки живлення, до 10—25% і більше.

## **Література**

Бондаренко, С. Г., Складанний, Д. М., Абрамова А. О. (2029). *Технологічні вимірювання і прилади. Вимірювання рівня та витрат*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Малежик, І. Ф. (2003). *Процеси і апарати харчових виробництв: підручник*. Київ: НУХТ.

Маринченко, В. О., Домарецький, В. А., Шиян, П. Л., Швець, В. М., Циганков, П. С., Жолнер, І. Д. (2003). *Технологія спирту*. Вінниця: «Поділля-2000».

Марценюк, О. С., Малежик, І. Ф., Зоткіна, Л. В. (2019). Тарілчасті апарати та їх удосконалення. *Наукові праці НУХТ*, 25(2), 121—133.

Міщенко, О. С., Кизюн, Г. О., Можаровська, А. А., Олійник, С. І. (2020). Енергоефективна технологія переробки фракції головної етилового спирту з отриманням спирту етилового ректифікованого. *Харчова промисловість*, 28, 115—122.

Plutowska, B., Wardenski, W. (2008). Application of gas chromatography-olfactometry (GC-O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages — a review, *Food Chemistry*, 107, 449—463.

Полулях, К. С., Тополов, И. И. (2012). Определение оптимальных параметров автогенераторного расходомера. *Украинский метрологический журнал*, 4, 48—50.

Українець, А. І., Шиян, П. Л., Сосницький, В. В. (2006). Перспективні напрямки енергозбереження в спиртовому виробництві. *Харчова і переробна промисловість*, 4, 4—12.

Українець, А. І., Шиян, П. Л., Сизько, В. Б. (2010). Сучасне обладнання спиртового виробництва. *Науково-технічні розробки та інноваційні технології*, 81—82.

Цыганков, С. П. (2010). *Биоэтанол*. Киев: ООО «НПП «Интерсервис».

Шиян, П. Л., Сосницький, В. В., Олійнічук, С. Т. (2009). *Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія*. Київ: Видавничий дім «Асканія».

Янчевський, В. К., Ковальчук, В. П., Кравчук, З. Д., Попова, В. М., Олійник С. І. (1999). Інструкція по хіміко-технологічному контролю лікєро-горілчаного виробництва. Київ: УкрНДДспиртбіопрод.

Bulii, Y., Kuts, A., Yuryk, I., Forsiuk A. (2021). Improving the efficiency of mass-exchange between liquid and steam in rectification columns of cyclic action, *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 346—360.

Kiss, A. (2015). Pilot-scale studies of process intensification by cyclic distillation, *AIChE Journal*, 61, 2581—2591.

Liaposhchenko, O., Marenok, V., Skydanenko, M., Pavlenko, I., Ochowiak, M., Mižáková, J., Pitel', J., Storozhenko, V., Smyrnov, V., Shmatenk, V. (2021). Modeling of technological processes for a rectification plant in second-generation bioethanol production. *Processes*, 9, 944.

## STUDY OF THE DYNAMICS OF SHUT-OFF AND CONTROL DEVICES WITH POSITIONAL ELECTROPNEUMATIC CONTROL SYSTEMS

S. Volodin, S. Tokarchuk, V. Myronchuk, M. Maslo

National University of Food Technologies

---

### Key words:

*Sugar production  
Numerical experiment  
Shut-off and control  
devices  
Ball valve  
Technological parameters*

### Article history:

Received 20.10.2023  
Received in revised form  
02.11.2023  
Accepted 16.11.2023

### Corresponding author:

S. Volodin

### E-mail:

volodinso@nuft.edu.ua

**Citation:** С. О. Володін, С. В. Токарчук, В. Г. МIRONCHUK, М. А. Масло (2023). Дослідження динаміки запірно-регулювальних пристроїв з позиційними електропневматичними системами керування. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 57—65  
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-6

---

### ABSTRACT

High-quality sugar output largely depends on the efficiency of the shut-off and control devices (S&D) in the pipeline system connecting the equipment into a single continuously operating process line. Therefore, it is important to ensure optimal conditions for the continuous operation of technological equipment with shut-off and control devices for sugar production in accordance with the norms of technological regulations.

The results of experimental studies conducted on an experimental stand developed by the authors and equipped with a position-type electropneumatic drive are presented in the article. DN rotary disc flaps and ball valves were used for the study. The research methods included the theory of fluid dynamics and machine dynamics; numerical solution of systems of differential equations; methods of mathematical statistics for processing the results of experiments; computer modeling methods.

A comparative analysis of the results of mathematical modeling and field studies was carried out to determine the throughput of a ball valve with a positional pneumatic actuator depending on the angle of rotation of the locking element. Based on the analysis of the current state of the problem, it was determined that the reliability and adequacy of the proposed mathematical models depend on a reasonable combination of the initial design parameters with the standards of tightness, strength, and service life while ensuring a given technological regulation. This means that the mathematical models used to describe the operation of shut-off and control devices must be accurate and adequate. To do this, it is necessary to reasonably combine the initial design parameters of the valves and gauges with the standards of tightness, strength and service life. Shut-off and control devices depend on how fully and accurately they take into account the original design parameters of the S&D. These parameters include the geometry of the locking element; materials used to make the locking element; dimensions and shapes of the channels; and the location of the channels. In addition, mathematical models should take into account the standards of tightness, strength and service life of the S&D. The results of the research was implemented at the Linovets Sugar Plant.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗАПІРНО-РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ З ПОЗИЦІЙНИМИ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ КЕРУВАННЯ

С. О. Володін, С. В. Токарчук, В. Г. Мирончук, М. А. Масло  
Національний університет харчових технологій

*Вихід цукру високої якості багато в чому залежить від ефективності роботи запірно-регулювальних пристроїв (ЗРП) у системі трубопроводів, що з'єднують устаткування в єдину безперервну технологічну лінію, тому важливо забезпечити оптимальні умови безперервної роботи технологічного обладнання із ЗРП для виробництва цукру відповідно до норм технологічного регламенту.*

*У статті наведені результати експериментальних досліджень, які проводилися на розробленому авторами експериментальному стенді, обладнаному ЗРП з електропневматичним приводом позиційного типу. Для дослідження використовувалися поворотні дискові заслінки DN і кульові крани. Методи дослідження включали: теорію гідрогазодинаміки та динаміки машин; чисельне розв'язання систем диференціальних рівнянь; методи математичної статистики для обробки результатів експериментів; методи комп'ютерного моделювання.*

*Проведено порівняльний аналіз результатів математичного моделювання та натурних досліджень для визначення величини пропускної здатності кульового крана з позиційним пневмоприводом залежно від кута повороту запірної елемента. На основі аналізу сучасного стану проблеми визначено, що вірогідність та адекватність запропонованих математичних моделей залежать від розумного поєднання вихідних конструктивних параметрів з нормами герметичності, міцності та ресурсу при забезпеченні заданого технологічного регламенту. Це означає, що математичні моделі, які використовуються для опису роботи запірно-регулювальних пристроїв (ЗРП), мають бути точними й адекватними. Для цього необхідно розумно поєднувати вихідні конструктивні параметри ЗРП з нормами герметичності, міцності та ресурсу.*

*Запірно-регулювальні пристрої залежать від того, наскільки повно і точно вони враховують вихідні конструктивні параметри ЗРП. До цих параметрів належать: геометрія запірної елемента; матеріали, з яких виготовлено запірний елемент; розміри і форми каналів; розташування каналів. Крім того, математичні моделі мають враховувати норми герметичності, міцності та ресурсу ЗРП. Ці норми встановлюються відповідно до технологічного регламенту і визначають вимоги до надійності та довговічності ЗРП.*

*Вирішена задача забезпечення достовірності та адекватності математичних моделей аналізу вихідних параметрів ЗРП із подальшим формуванням вимог технологічного регламенту.*

*Результати виконаних досліджень впроваджені на Линовицькому цукровому заводі.*

**Ключові слова:** цукрове виробництво, чисельний експеримент, запірно-регулювальні пристрої, кульовий кран, технологічні параметри.

**Постановка проблеми.** Формування етапів монтажу та експлуатації ЗРП (запірно-регулювальних пристроїв) на підприємствах цукрової галузі базується на правильності підбору і компонованні системи технологічних комунікацій. Вибір арматури для трубопровідної системи повинен ґрунтуватись на основі ретельно підготовлених і чітко поставлених технічних умов, які визначають необхідні параметри технологічного процесу. Розв'язання цієї задачі тісно пов'язане з: обґрунтованим вибором видів технологічного устаткування, широкою автоматизацією технологічних процесів, впровадженням нових технічних рішень, використанням необхідних засобів контролю для реалізації завдань комплексної механізації технологічних операцій.

Достовірність і адекватність запропонованих математичних моделей, які використовують для опису роботи запірно-регулювальних пристроїв (ЗРП), залежать від повноти й точності врахування початкових конструктивних параметрів ЗРП. Також важливим чинником є відповідність цих параметрів встановленим нормам герметичності, міцності й ресурсу. Тобто необхідно враховувати всі важливі конструктивні параметри ЗРП, включно з геометрією запірного елемента, матеріалами його виготовлення, розмірами та формами каналів, а також розташуванням каналів. Завдання забезпечення достовірності й адекватності математичних моделей є важливим і потребує ретельного аналізу вихідних параметрів ЗРП та вимог технологічного регламенту.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Висхідні вимоги до безпеки та надійності трубопроводів призводять до необхідності уточнення стандартів експлуатації трубопровідної арматури. Так, (Dorsatwar, & Kad, 2023) експериментально досліджує тиск на різні ділянки запірної арматури, які виникають під дією потоку рідини. Однак дослідження опрацьовані лише шляхом збільшення концентрації тиску для різних рідин, а саме: води, мастила та дизельного пального. Відповідно, не описані критерії розробки нового запірного елемента, і тому нечітко визначені вхідні дані, включаючи віртуальну твердотілу модель та граничні умови експлуатації. Крім загальних факторів, під час розрахунку кульових кранів і трубопроводів на цукрових виробництвах необхідно враховувати такі аспекти (Сорокін, 2009): вплив вібрації на передчасне зношування запірних елементів трубопровідної арматури, наявність ерозії робочого середовища. Актуальними завданнями, під час дослідження роботи запірних елементів арматури, є завдання з оптимізації конструкції. (Volodin, & Myronchuk, 2020). Оптимізацію виконано з використанням методу генетичних алгоритмів, розглянуто основні фактори, що впливають на конструкцію кульового крана, а також наведено результати оптимізації конструкції кульових кранів для різних умов експлуатації. Робота промислових запірно-регулювальних пристроїв залежить від місця монтажу на трубопроводі та системи керування потоком робочого середовища, найчастіше шляхом зміни прохідного перерізу (Rangappa, 2021). Результати дослідження проектування і розрахунку арматури цукрових підприємств описані в праці (Kim, & Lee, 2019), де досліджувалась система трубопроводів заводу, яка може експлуатувати кульові крани у високотемпературних середовищах. Сильна кавітація також впливає на властивості потоку рідини й ефективність будь-якого гідравлічного клапана. Один із варіантів боротьби із кавітаційними явищами — це система керування пристроями запірно-регулювального типу. (Bindu, & Archana, 2017). У праці (Zhou, &

Wang, 2017) впливовими факторами на технологічну довговічність запірних елементів трубопровідної системи вважають характеристики робочого середовища і систему керування обладнанням. Одним із факторів вибору запірно-регулювальних пристроїв є відповідність експлуатаційним параметрам. На основі (ДСТУ EN 12266-1:2009, 2009; Sun, & Kim, 2017) для різних видів ЗРП сформована класифікація основних експлуатаційних характеристик. У праці (Gavva, 2023) зазначається, що запірно-регулювальні системи мають низку недоліків, які можуть ускладнювати їхнє використання. До них належать герметичність, габарити, а також властивості робочих середовищ. Крім того, опір потоку запірного елемента може призвести до підвищення витрат на експлуатацію.

З іншого боку, в (Alimonti, 2019) зазначено, що кульові крани та дискові заслінки з чверть поворотними системами мають ряд спільних характеристик. Вони характеризуються компактною конструкцією, простотою обслуговування та універсальністю застосування. Крім того, вимагають меншої потужності виконавчого механізму для підтримки заданого часу на відкриття/закриття.

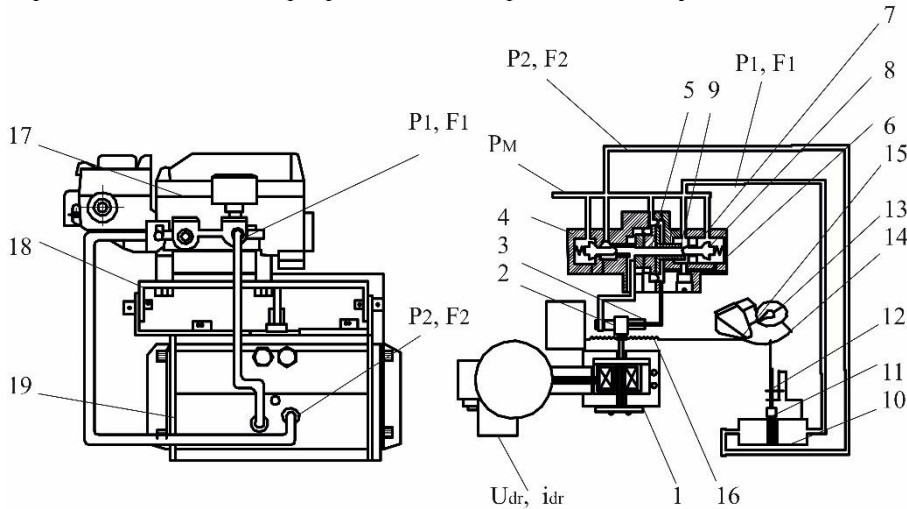
На основі досліджень (Wanga, & Liub, 2019; Aoshima, 2018) обґрунтовано актуальність розв'язання задач щодо дослідження впливу пружно-дисипативних властивостей ланок і тертя в контактних парах запірно-регулювальних елементів на роботу електропневматичного приводу та його технологічних параметрів. Доведено актуальність напряму досліджень системи керування запірними елементами, оскільки це дає змогу підвищити ефективність роботи трубопровідної мережі в цілому. Аналіз чинних досліджень, пов'язаний з ефективністю роботи пристроїв запірно-регулювальних елементів, показав недостатність інформації щодо їх експлуатаційних характеристик. Такі характеристики, як час відкриття/закриття, герметичність, міцність і довговічність, потрібні для забезпечення надійності та безпеки роботи трубопроводів, тому подальші дослідження в цьому напрямку є необхідними для розробки ефективних і надійних пристроїв запірно-регулювальних елементів.

**Метою статті** є дослідження параметрів удосконалення конструкції системи позиційного приводу запірно-регулювального пристрою для підвищення ефективності роботи та експлуатаційних характеристик трубопровідної технологічної магістралі цукрового виробництва.

**Матеріали і методи.** Дослідження впливу пружно-дисипативних властивостей ланок і тертя у контактних парах запірно-регулювальних елементів (ЗРП) на роботу електропневматичного приводу та його технологічних параметрів проводили двома способами: методом чисельного моделювання та на експериментальних стендах.

На експериментальному стенді для дослідження кінематичних і аналітичних параметрів ЗРП, в умовах змінної продуктивності, можна було змінювати закони руху вихідної ланки. Експериментальними методами досліджено, як впливають пружно-дисипативні властивості ланок і тертя в контактних парах запірно-регулювальних елементів на кінематичні та динамічні характеристики ЗРП за умови змінної продуктивності технологічної ділянки. Роботу ЗРП змодельовано з пропорційним керуванням за допомогою цифрового витратоміра і датчиків тиску. Дослідження проводили у двоконтурній мережі: повітря — під тиском 6 барів, температурою 20 °С, вода — під тиском 0,2—4,0 бар, температурою 20—70 °С.

**Результати і обговорення.** Дослідження роботи ЗРП, оснащених електропневматичним приводом, здійснювали на експериментальному стенді (рис. 1) та у технологічному контурі трубопровідної магістралі Линовицького цукрового заводу. Під час досліджень, здійснено перевірку адекватності отриманих теоретичних результатів дослідження із даними дослідження гідродинамічних процесів, отриманими на власно розробленій експериментальній установці.



**Рис. 1.** Загальна схема позиційного приводу експериментального зразка ЗРП:

а) на базі поворотного пневмоприводу двосторонньої дії; б) структура пристрою позиціонування з пілотним клапаном: 1 — електромагнітний двигун; 2 — заслінка дроселювального пристрою; 3 — сопло; 4 — робоча камера ліва; 5 — золотник; 6 — робоча камера права; 7 — сідло; 8 — поршень золотника; 9 — підвідний трубопровід; 10 — привод (може бути використано будь-який або лінійного типу зі штоковим пневматичним циліндром); 11 — куліса; 12 — вал (шток) приводу; 13 — робоча камера пневматичного приводу; 14 — кулачок; 15 — пружина; 16 — пружина; 17 — кришка (корпус керуючого модуля); 18 — монтажна скоба; 19 — поворотний пневматичний циліндр

На рис. 1 наведено принципову схему керування ЗРП на базі електропневматичного позиційного поворотного рейкового приводу. Відповідно до схеми (рис. 1) потрібно зазначити, що досліджуваний позиційний електропневматичний привод, послідовно змонтовано із дисковою міжфланцевою заслінкою та кульовим краном. Під час збільшення вхідного електричного сигналу (4—20 мА), робоча заслінка 2 впливає на сопло 3. Люз між соплом 3 і заслінкою 2 збільшується пропорційно до вхідного сигналу. Результатом є формування тиску на золотник 5 з подальшим його рухом вперед, що забезпечує скидання стисненого повітря до приводу 10. Зі зростанням тиску в робочій камері приводу вал приводу 12 передає тиск на кулачок 14, що забезпечує натяг пружини 15. Компенсування сили пружини 15 відбувається шляхом крутного моменту електромагнітного двигуна 1, який забезпечує повернення заслінки 2 у вихідне положення. Це призводить до зменшення люзу із соплом 3. Зі зменшенням рівня тиску у соплі 3 відбувається зростання тиску на золотник 5. Запропонована конструкція, у разі повернення золотника 5 у вихідне положення, забезпечує блокування сідла 7, яке регулює

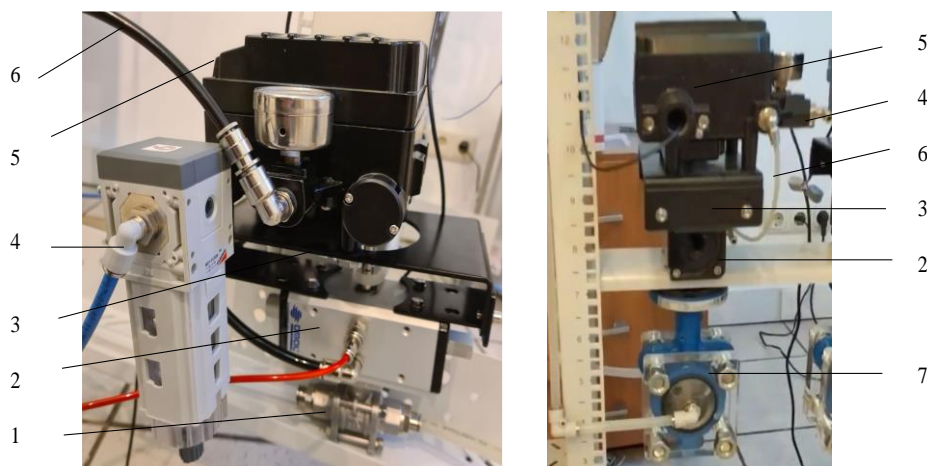
підведення повітря у привод 10. Під час зупинки приводу 10 система керування повертається у вихідне положення.

Під час збільшення вхідного електричного сигналу 4—20 мА, заслінка 2 здійснює вплив на сопло 3. Зазор між соплом 3 та заслінкою 2 збільшується. В результаті виникає тиск на золотник 5 і починається його рух вперед, що забезпечує скидання стисненого повітря у привод 10.

Як тільки тиск у робочій камері приводу починає збільшуватись, вал (шток) приводу 12 починає рух, відбувається тиск на кулачок 14, який забезпечує натяг пружини 15.

Сила пружини 15 компенсується шляхом крутного моменту електромагнітного двигуна 1, що надалі забезпечує повернення заслінки 2 у вихідне положення і призводить до зменшення зазору із соплом 3. Як тільки рівень тиску в соплі 3 зменшується, рівень тиску на золотник 5 знову зростає. У випадку повернення золотника 5 у вихідне положення блокується сідло 7, яке перекриває підведення повітря у привод 10. Як тільки зупиняється привод 10, система керування повертається у вихідне положення.

На рис. 2, показано досліджуваний позиційний електропневматичний привод, який почергово було змонтовано з дисковою міжфланцевою заслінкою та кульовим краном.



**Рис. 2. Загальний вид експериментального зразка ЗРП з позиційним приводом:**  
а) керування кульовим краном; б) керування дисковою заслінкою; 1 — кульовий кран; 2 — поворотний привод пневматичний; 3 — фланець монтажний; 4 — трубопровід підведення повітря з системою підготовки повітря; 5 — позиційний модуль керування; 6 — трубопровід відведення повітря у пневмоприводі; 7 — дискова заслінка міжфланцева

Контрольно-вимірювальним цифровим комплексом знімалися показники зміни тиску і витратних характеристик ЗРП у режимі реального часу. Під час проведення експерименту визначені витратні характеристики для різних режимів керування приводом і різних робочих середовищ. Отримані результати досліджень було застосовано та перевірено при впровадженні запірно-регульовальних пристроїв із позиційними електропневматичними приводами на виробництві. Опис рівняння руху керуючої заслінки для запірного клапана:

$$m_{dr} \cdot \frac{d^2 h(t)}{dt^2} = K_{fid} \cdot i_{dr}(t) - b_{vdr} \cdot \frac{dh(t)}{dt} - c_{dr} \cdot h(t), \quad (1)$$

$m_{dr}$  — маса керуючої заслінки для дроселя, кг;  $K_{fid}$  — коефіцієнт сили струму в електричного ланцюга для електромеханічного перетворювача, Н/А;  $b_{vdr}$  — коефіцієнт в'язкого тертя в дроселях, Н·с/м;  $c_{dr}$  — коефіцієнт жорсткості пружини в дроселях, Н/м.

Опис рівняння руху золотника клапана під час постійного перепаду тиску:

$$m_K \cdot \frac{d^2 x_K(t)}{dt^2} = A_1 \cdot (p_2(t) - p_3) - b_{vK} \cdot \frac{dx_K(t)}{dt} - c_K \cdot x_K(t), \quad (2)$$

$m_K$  — маса золотника клапану для постійного перепаду тиску, кг;  $A_1$  — площа для торцевої поверхні клапану постійного перепаду тиску, м<sup>2</sup>;  $x_K(t)$  — залежність переміщення золотника клапана для постійного перепаду тиску від часу, м;  $p_3$  — залежність тиску на виході з дроселів від часу, Па;  $c_K$  — коефіцієнт для жорсткості пружини у клапані постійного перепаду тиску, Н/м;  $b_{vK}$  — коефіцієнт в'язкого тертя золотника у клапані для постійного перепаду тиску, Н·с/м.

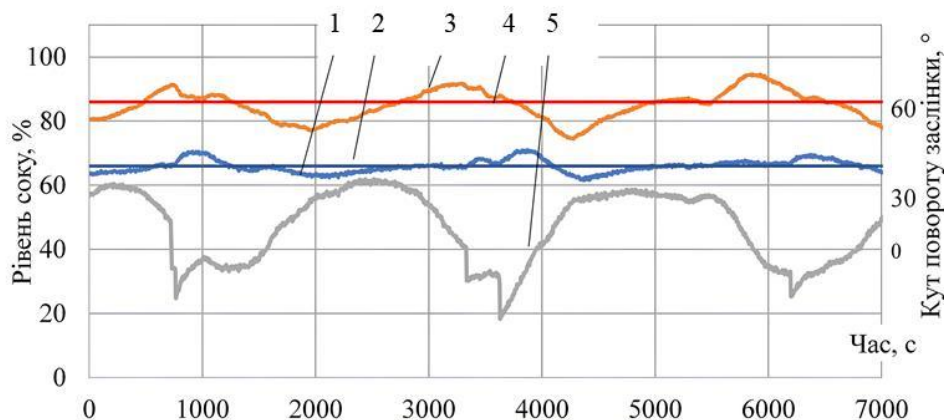
Опис рівняння балансу витрат повітря крізь регулятор втрат позиціонера:

$$\begin{aligned} \mu_K \cdot b_K \cdot x_K(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1(t) - p_2(t))}{\rho_0}} - \mu_{dr} \cdot b_{dr} \cdot h(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_2(t) - p_3(t))}{\rho_0}} = \dots \\ \dots = \frac{V_{K1}}{2E} \cdot \frac{dp_2(t)}{dt} + A_1 \cdot \frac{dx_K(t)}{dt}, \end{aligned} \quad (3)$$

$\mu_K$  — коефіцієнт витрати для дроселювальної щілини клапану постійного перепаду тиску;  $E$  — приведений модуль об'ємної пружності для робочої рідини, Па.  $\mu_{dr}$  — коефіцієнти витрат для дроселя;  $b_K$  — ширина щілини золотника клапану для постійного перепаду тиску, м;  $V_{K1}$  — об'єм верхньої порожнини для клапану постійного перепаду тиску, м<sup>3</sup>;  $b_{dr}$  — ширина зазору дроселя, м;  $V_{K2}$  — об'єм робочої нижньої порожнини для клапану постійного перепаду тиску, м<sup>3</sup>.

Запірний пристрій налаштовано керуючим і збурювальним впливами, від яких відбуваються зміни стану системи в часі. У реальних умовах впливи на систему запірного пристрою інколи бувають випадковими, і це викликає у системі випадкові і стохастичні (відповідно, невизначені) процеси. Результати випробувань на Линовицькому цукровому заводі узагальнено на рис. 3. Описана характеристика змін під час процесу підтримання рівня соку між першим і другим корпусами випарної станції, після впровадження ЗРП з позиційними електропневматичними системами керування дискової заслінки DN. Доведено, що під час регулювання зміни кута повороту диска корегуються рівні соку в корпусах із контролем відхилень у межах заданих значень. За результатами роботи отримано такі показники: відхилення рівня соку в першому корпусі не перевищує 0,21% від встановленого значення, відхилення рівня соку другого корпусу у межах — 1,45%. Плавність роботи пневматичних приводів можна забезпечити шляхом налаштування системи керування.

Впливи на систему з пневмоприводом у реальному процесі, зазвичай, непередбачувані, тому для дослідження динамічних властивостей системи використовують детерміновані впливи, які можна точно описати математично. Типовими детермінованими впливами є три види: сходячковий, гармонічний та імпульсний.



**Рис. 3. Результати регулювання рівня соку в першому та другому корпусі випарної станції дисковою заслінкою і позиційним електропневматичним приводом:**

а) діаграма контролю рівня соку в першому та другому корпусі і кута повороту дискової заслінки: 1 — рівень у корпус 1; 2 — завдання 1; 3 — рівень у корпус 2; 4 — завдання 2; 5 — кут повороту дискової заслінки

На технологічній ділянці випарної установки для контролю рівня в першому та другому корпусі було встановлено запірно-регульовальний пристрій (ЗРП) дискової заслінки. Для дослідження динамічних характеристик системи під час гармонічного впливу було застосовано метод частотного аналізу. Цей метод дає змогу ефективно вирішувати завдання стійкості системи та досліджувати вплив різних чинників на динамічні характеристики окремих елементів та системи в цілому

## Висновки

Була розроблена й експериментально перевірена конструкція експериментального стенда для дослідження ефективності системи управління позиційним приводом запірної арматури. Конструкція стенда дає змогу змінювати закони руху вихідної ланки (диска, кулі, клапана). Це дає змогу досліджувати кінематичні та динамічні характеристики запірних пристроїв в умовах змінної продуктивності для технологічної ділянки.

На стенді програмно встановлені та експериментально досліджені режими роботи дискової заслінки та кульового крана. Розроблена математична модель керування запірними пристроями на прикладі дискової поворотної заслінки. Модель проаналізована з урахуванням окремих етапів і прийнятих допущень. Також розроблена схема позиційної пневматичної підсистеми регулювання витратних характеристик трубопроводів із ньютонівською рідиною. Проведені експериментальні дослідження позиційних модулів керування елементами запірних пристроїв. Обґрунтовано робочий сигнал керування дисковою заслінкою за допомогою

пневматичного позиціонера з послідовним асинхронним інтерфейсом для передачі інформації у старт-стопному режимі 4—20 мА постійним струмом. Описано зміщений робочий діапазон керуючого сигналу: найменше значення сигналу 0 відповідало струму 4 мА, найбільше — 20 мА. Діапазон допустимих значень займав 16 мА. Нульове значення струму в ланцюзі діагностувало аварійну ситуацію переривання керуючого сигналу до запірної пристрою. За результатом математико-статистичної обробки похибка вимірювання середньоквадратичних значень для рівнів витрат складає  $\pm 7,01\%$  із довірчою ймовірністю 0,95. Опрацьовані результати підтвердили ефективність корегування витрат робочого середовища за заданими характеристиками за умови використання позиційного пневмоприводу. Отриманні результати повністю задовольняють вимоги технологічного регламенту керованої запірної арматури.

## Література

- Сорокін, А. І. (2009) Оборотні системи охолоджувального водопостачання в бурякоцукровому виробництві та сучасні технології обробки оборотних вод: Київ, ІПДО НУХТ.
- Alimonti, C. (2019) Experimental characterization of globe and gate valves in vertical gas-liquid flows. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 54, 259—266. doi:<https://doi.org/http://www.doi.org/10.1016/j.exphemflusci.2014.01.001>.
- Aoshima, N. (2018) Measurement of nonlinear vibration by signal compression method. *Journal of the Acoustical Society of America*, 76(3), 794—801. doi: <http://www.doi.org/10.1121/1.391303>.
- Bindu, S. S., Archana, B. S. (2017) Experimental and Computational Investigations on two phase flow through cryogenic ball valve using liquid nitrogen. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 8(7), 1656—1662. doi:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2070/1/012197>.
- Dorsatwar, Harshal Rajesh, Kad, D. P. (2023) A review on design and analysis of industrial ball valve using computational fluid dynamics. *International Journal of Innovations in Engineering and Science*, 8 (2), 26—28.
- Gavva, O. (2023) Architecture of hybrid mechatronic dosing and packing module of packaging machine based on qualitative analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(2(124)), 70—79. doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286615>.
- Jablonski, J. and Helfer, W. (2019) Using ball valves in high-temperature applications. *Hydrocarbon Processing*, 20, 252—264. Взято з: <http://surl.li/norgm>.
- Kim, C. K., Lee, S. M., (2019) Performance analysis of a ball valve used for gas pipelines by introducing nondimensional parameters. *Adv. Mech. Eng.*, 11(1), 1—10. doi: <https://doi.org/10.1177/1687814018823350>.
- Rangappa, Ravichandra (2021) Computational design optimization of industrial single piece. *Journal of Physics: Conference Series* 2070, 2—13. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2070/1/012197>.
- Sun, X., Kim, H. (2017) Numerical investigation of the effect of surface roughness on the flow coefficient of an eccentric butterfly valve. *J Mech Sci Technol*, 31(6), 2839—2848. doi:<https://doi.org/10.1007/s12206-017-0527-0>.
- Volodin, S. Myronchuk, V. (2020) Practical aspects of modeling hydrodynamic characteristics in the system of pipeline valves. *Научні трудове на Русенския университет*, 59(10.2), 84—88.
- Wanga, L., Liub, X. (2019) Improved disturbance observer based control for airborne photoelectric stabilized platform. *International Journal for Light and Electron Optics*, 188, 133—136. doi: <http://www.doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.05.041>
- Zhou X., Wang (2017) A simple method for high-precision evaluation of valve flow coefficient by computational fluid dynamic simulation. *Adv Mech Eng*, 9 (7), 1—7. doi:<https://doi.org/10.1177/1687814017713702>

## SUBSTANTIATION OF OPERATING MODES OF ADAPTRONIC FUNCTIONAL MODULES FOR DOSING LIQUID PRODUCTS BY WEIGHT

O. Gavva, L. Kryvoplias-Volodina

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Adaptive functional module*  
*Valve*  
*Effective product flow area*  
*Nozzle*  
*Geometric shape*  
*Product dose*  
*Consumer packaging*  
*Liquid products*

---

**Article history:**

Received 16.10.2023  
Received in revised form 31.10.2023  
Accepted 13.11.2023

---

**Corresponding author:**

L. Kryvoplias-Volodina  
**E-mail:**  
krivoplyas-  
volodina@ukr.net

**Citation:** Гавва О. О., Кривопляс-Володіна Л. О. (2023). Обґрунтування режимів роботи адаптронних функціональних модулів дозування рідкої продукції ваговим способом. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 66—76.  
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-7

---

**ABSTRACT**

Modern automatic machines must be characterized not only by high performance but also by high functional accuracy. For automatic packaging machines that pack products into consumer packaging, this functional accuracy is the accuracy of dose formation. At the current stage of designing packaging machines (availability of functional modules, microdrives, microsensors, computer control technologies, etc.), it is appropriate to create adaptive functional modules for the weight-based dosing method. This method of dosing for liquid products was almost never used due to the lack of appropriate drives, sensors of mechanized control systems, as well as justification of the operating modes of the product power supply system and the weighing system. The developed structure of an adaptronic functional module for dosing liquid products in a weighted manner is presented in the article. The stages of filling containers with liquid products were analyzed taking into account the dynamic component of weighing. The process of dose formation in terms of time and dosing accuracy can be optimized by rational selection of the geometric shape of the nozzle valve and the rational law of its movement relative to the nozzle channel. A theoretical analysis of the product movement through the nozzle channel using four commonly used geometric shapes of the valve (conical; spherical with a seat that does not follow the shape of the valve; spherical with a seat that follows the shape of the valve; cylindrical) is performed. On the example of packaging milk in a 1-litre bottle, graphical dependencies were obtained that reflect the efficiency of product flow control. It was found that conical valves provide the largest valve stroke with the same flow characteristics, and spherical valves with a seat that follows the shape of the valve provide the smallest stroke. The analysis of these results suggests that the most optimal geometric shape is conical-spherical or drop-shaped.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2023-29-5-7

---

## ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ АДАПТРОННИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ДОЗУВАННЯ РІДКОЇ ПРОДУКЦІЇ ВАГОВИМ СПОСОБОМ

О. О. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна

Національний університет харчових технологій

Сучасні машини-автомати мають характеризуватися не тільки високою продуктивністю, але й високою точністю виконання функцій. Для пакувальних машин-автоматів, що пакують продукцію в споживчу тару, такою функціональною точністю є точність формування дози. На нинішньому етапі проектування пакувальних машин (наявність функціональних модулів, мікроприводів, мікродатчиків, комп'ютерних технологій керування тощо) доречним є створення адаптронних функціональних модулів для вагового способу формування дози. Донедавна цей спосіб дозування для рідкої продукції майже не застосовувався через відсутність відповідних приводів, датчиків механізованих систем керування, а також обґрунтування режимів роботи системи живлення продукції та системи зважування.

У статті наведено розроблену структуру адаптронного функціонального модуля дозування рідкої продукції ваговим способом. Проаналізовано етапи наповнення тари рідкою продукцією та врахування динамічної складової зважування. Оптимізувати процес формування дози за часом і точністю дозування можна шляхом раціонального підбору геометричної форми клапана насадки та раціонального закону його руху відносно каналу насадки. Виконано теоретичний аналіз руху продукції по каналу насадки при застосуванні чотирьох широко використовуваних геометричних форм клапана (конічної; сферичної із сідлом, що не повторює форму клапана; сферичної із сідлом, що повторює форму клапана; циліндричної). На прикладі фасування молока в пляшку місткістю 1 л одержано графічні залежності, що відображають ефективність регулювання потоком продукції. Встановлено, що клапани конічної форми забезпечують найбільший хід клапана при однакових витратних характеристиках, а сферичної із сідлом, що повторює форму клапана, найменший хід. Аналіз цих результатів надає можливість припустити, що найбільш оптимальною геометричною формою є конічно-сферична, або подібна до краплі.

**Ключові слова:** адаптронний функціональний модуль, клапан, ефективна площа потоку продукції, насадка, геометрична форма, доза продукції, споживча тара, рідка продукція.

**Постановка проблеми.** Пакувальні машини-автомати можна характеризувати значною кількістю показників технічної досконалості, якими й визначають її конкурентоспроможність. Одним із таких важливих показників для машин пакування продукції у споживчу тару є точність формування дози. Відповідно до міжнародних стандартів поле допуску на точність дозування знаходиться в плюсовому полі. Забезпечити такі вимоги можна шляхом збільшення втрати продукції

виробником або розробкою та впровадженням новітніх технічних систем, побудованих на елементах адаптроніки, мехатроніки, мікроприводів, мікродатчиків тощо. Зазвичай, такі системи побудовані на ваговому способі формування дози з тензометричною схемою вимірювання ваги та комп'ютерних технологіях керування етапами дозування. Створення пакувальних машин на основі адаптронних функціональних модулів є одним із пріоритетів автоматизації виробництва, передбачених промисловою революцією «Індустрія 4.0». Впровадження адаптронних функціональних модулів дозування рідкої продукції ваговим способом передбачає встановлення функціональних залежностей між витратами продукції через насадку та конструктивними й кінематичними параметрами клапана, що змінює величину потоку продукції. А тому поставлені завдання дослідження є актуальними й потребують ефективної реалізації.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Рідку продукцію, яка за структурно-механічними властивостями наближена до ідеальної ньютонівської рідини, здебільшого дозують об'ємним способом. Для реалізації об'ємного способу використовують функціональні модулі, які забезпечують формування дози в мірних місткостях, за рівнем споживчій тарі, жорсткою конструкцією тари (метод витискання) та використанням витратних пристроїв. З наведених методів формування дози продукції об'ємним способом застосування мірних ємностей забезпечує найвищу точність (Isermann, 2023). Поряд із цим дозувально-фасувальні модулі із мірною ємністю є складні за конструкцією та системою автоматичного регулювання величини дози. Їх також можна характеризувати як малопродуктивні. Усунути ці проблеми можна, застосувавши ваговий спосіб формування дози, попри відносно складну систему керування. Структура такого функціонального модуля включає пристрій живлення, зважувальну систему, блок контролю потоку продукції живильником і блок контролю сили, що діє на зважувальну систему (здебільшого тензометричну). Формування дози продукції ваговим способом досліджено під час пакування легкоплинної сипкої продукції у споживчу тару (Badiru, & Omitaomi, 2023). Об'єкт дозування, сипка продукція, прийнята як ньютонівська рідина, що характеризується законом безперервного руху потоку. Результатами досліджень встановлено, що на динамічну складову ваги продукції, що сприймається зважувальною системою, суттєво впливає режим потоку живлення та розташування зважувальної ємності. (Rangappa, 2020). Під час пакування рідини зважувальною ємністю є споживча тара. Для оптимізації операції дозування і фасування по її тривалості й точності формування дози важливо забезпечити відповідний закон зміни потоку продукції живильником у тару. Вирішити це завдання можна різними способами: клапанною системою, пневматичною, запірною арматурою (Baueg, 2019). В існуючих конструкціях пакувальних машин широко використовують клапанну систему з індивідуальним приводом на клапані та мікропроцесорною системою керування переміщення клапана відносно сідла насадки (Brody, 2000). Інтенсивність переміщення рідкої продукції в каналах живильника також залежить від геометричної форми клапана і сідла насадки.

У функціональних модулях з безклапанною системою живлення реалізувати потрібно режими потоку продукції досить (Sukhareva, & Yakovlev, 2018). Кожний вид рідких продуктів має певні властивості, що відповідним чином впливає на

геометрію живильника і систему управління тиском (Nelson, 2007). Моделюванню цих процесів приділяється значна увага (Ron, 2006). На сьогодні достатньо широко використовують електричні методи (Vazquez-Santacruz, 2023), однак вони не можуть забезпечити повноту розрахунку живильника, включаючи зміну характеристик двокомпонентного потоку за різних режимів роботи (de Moraes, 2017; Jacobs, 2003). Теоретичний опис процесу пневмотранспортування у (Zhang, & Liu, 2012) з використанням складної системи диференціальних рівнянь лише ускладнює пошук шляхів розв'язання проблеми. У праці (Sukhareva, & Yakovlev, 2018) розглядаються відомі порційні дозувальні функціональні модулі. Методом контролю вихідного параметра запропоновано значення величини дози в процесі її відмірювання з подальшим контролем моменту формування дози, але без подальшого контролю величини дози продукту. У пропозиції (Vazquez-Santacruz, 2023) розглядаються порційні дозувальні модулі, які використовують метод контролю вихідного параметра для визначення величини дози в процесі її відмірювання. Однак ці модулі не забезпечують подальшого контролю величини дози продукції. Окремі дослідження, наприклад (Shurong Ning, 2021), присвячені розв'язанню завдань багатоконпонентного дозування. Авторами запропоновано та реалізовано нові схеми автономного безперервного дозування, змішування та пакування різнокомпонентних продуктів у заданому співвідношенні. У (Tomoki Takase, 2022) також розглядаються завдання багатоконпонентного дозування. Для вирішення таких завдань потрібно розглядати метод одночасного порційного дозування складових багатоконпонентних продуктів із заданим вмістом компонентів. Матеріали наведених досліджень (Ashutosh Singh, 2023) обґрунтовують результати, що пов'язані з системами об'ємного дозування, які застосовуються в пакувальних машинах зі стабільними параметрами продуктів, зокрема об'ємна маса та в'язкість. Автори праць (Vavřík, & Fusko, 2022; Radovan Furmann, 2017) зазначають, що системи дозування з ваговою апаратурою є більш точні та надійні. Точність дозування розглядається в праці (Gavva, & Kryvoplias-Volodina, 2021), де витрати продукції регулюються пневмоклапанами. В таких системах спостерігається нестабільність характеристики пневмоклапанів під час роботи з малими перепадами тисків. Наведені результати не мають кінцевих рекомендацій для конструкції дозатора. Проведений аналіз виконаних досліджень, пов'язаних з ефективністю роботи адаптронних функціональних модулів дозування рідкої продукції, підтвердив недостатність досліджень щодо їх конструкцій, експлуатаційних характеристик та систем керування.

**Метою статті** є дослідження розроблення структурної схеми адаптронного функціонального модуля дозування рідкої продукції ваговим способом та обґрунтування режимів роботи клапанної системи за різних її конструктивних виконань.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження є адаптронний функціональний модуль дозування рідкої продукції ваговим способом. Якість функціонування цього модуля значною мірою залежить від роботи пристрою подачі продукції в споживчу тару. В існуючих конструкціях модулів дозування рідкої продукції зміну пропускної здатності насадки забезпечують клапани. Геометрична форма та закон руху клапана відносно каналу насадки суттєво впливають на характер зміни пропускної здатності насадки. Пропускна здатність насадки — це один із важливих параметрів, що забезпечують задану продуктивність функціонального модуля



Для повного контролю процесом дозування елемент зважування 4 з'єднаний з пристроєм 6 для вимірювання миттєвої швидкості потоку в живильнику, причому цей пристрій з'єднаний з елементом управління 7 і з елементом обчислення загальної ваги продукції 8. Так, для вимірювання значень миттєвих витрат сигнал від елемента зважування 4 відбирається з регулярним інтервалом часу (одна тисячна частка секунди). Отримане миттєве значення швидкості потоку спочатку передається до елемента управління 7, який керує положенням клапана 2, а потім до елемента обчислення загальної ваги 8 (продукція в тарі).

Елемент управління 7 клапана 2 також сприймає значення швидкості потоку 9, з яким порівнюються виміряні миттєві витрати для коригування положення клапана 2.

Крім цього, елемент обчислення загальної ваги продукції 8 приймає сигнал від елемента ваги 10 і сигнал визначення ваги доданої продукції 11. Елемент обчислення загальної ваги 8 порівнює обчислену загальну вагу нетто продукції з показами сигналів 10 та 11 і формує сигнал елемента 7, щоб зменшити або зупинити потік, коли ці два значення будуть рівними.

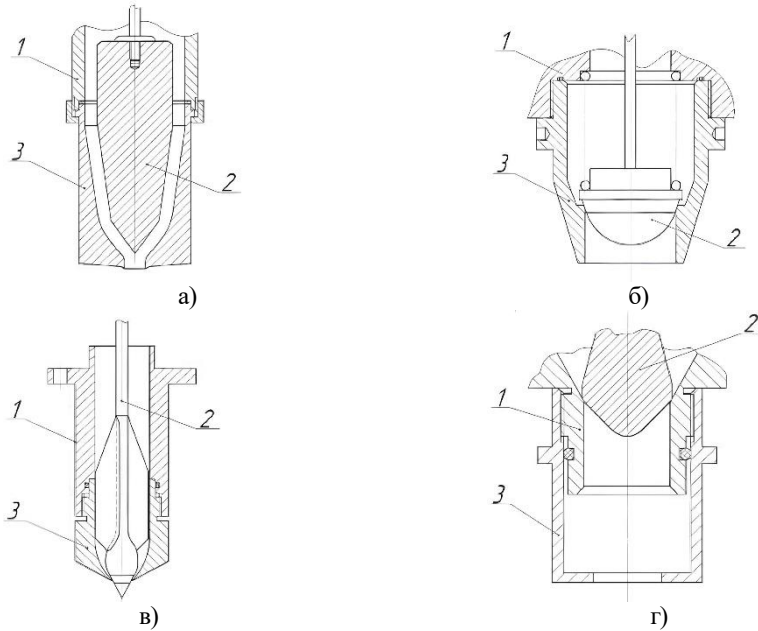
Елемент зважування 8 подає сигнал елементу 12 для обчислення середньої швидкості витрат потоку, після чого результуючий сигнал передається на компаратор 13, який також сприймає відносну середню швидкість витрат потоку 14.

Реальна вага продукції (нетто) обчислюється шляхом віднімання ваги тари від загальної ваги. Сигнал, що відповідає чистій вазі продукції, надходить до компаратора 15, який порівнює реальну вагу продукції з еталонним значенням 10. Процес зважування включає як статичну, так і динамічну складову руху продукції. Для маніпуляції впливу динамічної складової на точність дозування потрібно виконати ряд теоретичних досліджень щодо раціональної конструкції клапана і насадки та зміни ефективної площі каналу живильника. Більшість клапанних дозувально-фасувальних пристроїв мають подібну конструкцію, основними складовими яких є: корпус 1, клапан 2 та насадки 3 (рис. 2).

Аналіз впливу геометрії клапана на пропускну здатність насадки доречно виконати за таких конструкцій клапанів: конічні; сферичні (сідло не повторює форму клапана); сферичні (сідло повторює форму клапана); циліндричні. Під час вагового способу формування дози пропускну здатність насадки має змінюватися від максимального значення до нуля за відповідним законом, який визначається залежно від геометрії споживчої тари, дози продукції, тривалості дозування та реологічних характеристик продукції. В адаптронних функціональних модулях формування частин дози «грубої» та «чистої» виконується за безперервним режимом при мінімальній тривалості циклу та максимальній точності дозування. Для реалізації цієї умови клапанною системою маємо виконати умову:

$$Q_{кл} = Q_{розр} \text{ або } S_{ef.кл} = S_{ef.розр}. \quad (1)$$

де  $Q_{кл}$ ,  $Q_{ef.розр}$  — пропускну здатність насадки з клапаном та розрахована за вихідними даними відповідними;  $S_{кл}$ ,  $S_{ef.розр}$  — ефективна площа каналу насадки з клапаном та розрахована за вихідними даними операції дозування відповідно.



**Рис.2. Типові конструкції клапанних дозувально-фасувальних пристроїв для рідкої продукції:** а) конічна; б) сферична; в) комбінована; г) краплеподібна: 1 — корпус; 2 — клапан; 3 — насадка

У клапанних дозувально-фасувальних пристроях зміна ефективної площі насадки здійснюється шляхом відносного переміщення клапана. Переміщення клапана виконується за допомогою встановленого індивідуального пневмо- або електромагнітного приводів. Для керування рухом ведених ланок приводів потрібно знати зміну положення клапана в часі. Виконано аналіз ефективності регулювання пропускної здатності насадки за наявності чотирьох форм клапанів.

*А. Конічна форма клапана.* Розрахункову схему дозувально-фасувального пристрою із конічним клапаном наведено на рис. 3.

Відповідно наведеній розрахунковій схемі ефективну площу поперечного перерізу каналу насадки можна визначити за формулою:

$$S_{\text{эф}} = \pi \cdot h \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) (2 \cdot r_1 - 0,5 \cdot h \cdot \sin \alpha), \quad (2)$$

де  $h$  — переміщення клапана відносно каналу насадки;  $\alpha$  — кут при вершині конуса клапана;  $r_1$  — радіус вхідного каналу насадки.

Для максимального забезпечення пропускної здатності насадки потрібно, щоб ефективна площа насадки  $\pi r_1$  дорівнювала ефективній площі каналу продукції із клапаном.

*Б. Сферична форма клапана (сідло не повторює форму клапана).* Відповідно прийнятим позначенням (рис. 4) визначимо висоту конуса  $h$ , по поверхні якого визначається ефективна площа поперечного перерізу насадки із клапаном:

$$h = \left( r_1^2 - \frac{r_2^2}{4} \right)^{0.5}, \quad (3)$$

де  $r_1$  — радіус сфери клапана;  $r_2$  — радіус каналу насадки.

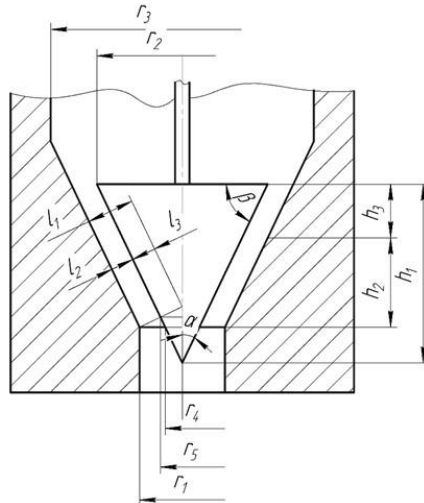


Рис. 3. Розрахункова схема дозувально-фасувального пристрою із конічним клапаном

Ефективну площу поперечного перерізу насадки із сферичним клапаном визначимо за формулою:

$$S_{ef} = \pi \cdot l_2 (r_2 + r_3), \quad (4)$$

де  $r_3$  — радіус конуса, яким сфера перекриває вихідний канал, визначається

$$r_3 = \frac{1}{h} (h - h_3) \cdot r_2; \quad l_2 \text{ — довжина бічної поверхні відкритої частини конуса,}$$

$$l_2 = r_1 - l_1;$$

$$l_1 = r_1 (h - h_3). \quad (5)$$

*В. Сферична форма клапана (сідло повторює форму клапана).* Розрахункова схема дозувально-фасувального пристрою наведена на рис. 5.

Площу ефективного поперечного перерізу каналу насадки із сферичним клапаном можна визначити за формулою:

$$S_{ef} = \pi \cdot l_4 (r_1 + r_4), \quad (6)$$

де  $r_4$  — радіус площі каналу насадки, що перекрита клапаном,  $r_4 = r_1 \cdot \sin \beta$ ;

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha; \quad \alpha = \arcsin \left( \frac{h_3}{r_1} \right) \quad (7)$$

$$l_4 \text{ — зазор між клапаном та сідлом, } l_4 = l_3 - r_1, \quad l_3 = \frac{r_3}{\sin \beta}.$$

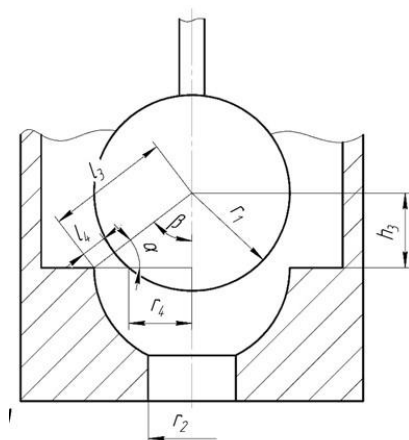


Рис. 4. Розрахункова схема дозувально-фасувального пристрою із сферичним клапаном і сідлом, що не повторює форму клапана

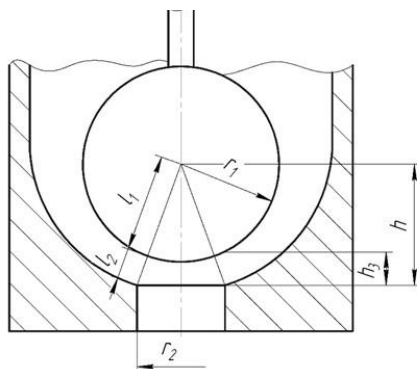


Рис. 5. Розрахункова схема дозувально-фасувального пристрою із сферичним клапаном і сідлом, що повторює форму клапана

Г. Циліндрична форма клапана. Площа ефективного поперечного перерізу каналу насадки із клапаном циліндричної форми (рис. 6) визначається за формулою:

$$S_{ef} = \pi \cdot r_1 \cdot h_3. \quad (8)$$

Повне відкриття каналу насадки буде при  $h_3 = r_1$ .

Відповідно до одержаних залежностей можна відмітити, що, незважаючи на відносно просту геометрію клапанів, зміна їх геометрії суттєво впливає на реалізацію процесу дозування. Встановлено також, що клапани конічної форми забезпечують найбільший хід клапану при однакових витратних характеристиках.

Виконавши числові розрахунки переміщення клапанів і дозувально-фасувальному пристрої при дозуванні молока в пляшку місткістю 1 л одержали такі залежності (рис. 7).

Виконавши числові розрахунки переміщення клапанів і дозувально-фасувальному пристрої при дозуванні молока в пляшку місткістю 1 л одержали такі залежності (рис. 7).

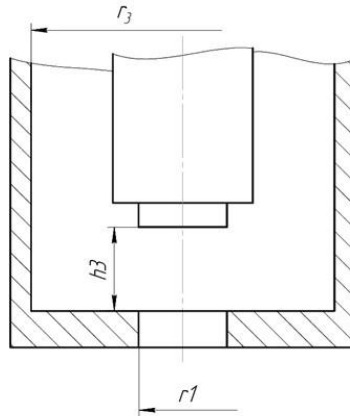


Рис. 6. Розрахункова схема дозувально-фасувального пристрою із каналом циліндричної форми

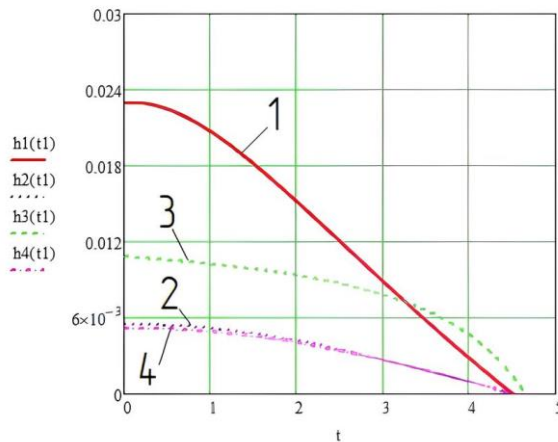


Рис. 7. Зміна положення клапанів під час дозування молока в пляшку місткістю 1 л ваговим способом

Клапан зі сферичною поверхнею та сідлом, що повторює форму клапана, має відносно короткий хід та може забезпечувати точне регулювання площі ефективного потоку на завершальному етапі формування дози. Клапани циліндричної та сферичної форми, що не повторюють форму клапана мають, в наближенні, однакову величину зміни площі ефективного перерізу каналу насадки.

## Висновки

Розроблена структурна схема адаптронного функціонального модуля надає можливість реалізувати процес дозування рідкої продукції ваговим способом. Ваговий спосіб дозування зі зворотним зв'язком за контрольними параметрами

миттєвих витрат забезпечує як задану продуктивність, так і високу точність дозування.

Проведено теоретичний аналіз ефективної площі каналу насадки від форми клапана та його відносного переміщення. Це дає змогу за заданої тари, продукції, циклу роботи забезпечити рух клапана за відповідним законом.

Числовими розрахунками встановлено, що клапани конічної форми забезпечують найбільший хід клапана при однакових витратних характеристиках, а сферичної та сідлом, що повторює форму клапана, — найменший хід.

Отже, можна припустити, що оптимальна геометрія клапана — конічно-сферична, або подібна до краплі.

## **Література**

Ashutosh, Singh. (2023) Machine Configuration Based on Machine Reliability and Production Rate Criteria Through Line Balancing Algorithm in Reconfigurable Manufacturing System (RMS). *Industrial Engineering Research Group*. 1120—1145. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-99-1308-4\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-99-1308-4_14).

Badiru, A. B., Omitaomu, O. A. (2023). *Systems 4.0: Systems Foundations for Industry 4.0* (1st ed.). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003312277>.

Bauer, E. (2019). *Pharmaceutical Packaging Handbook* (2st ed.). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.3109/9781420012736>.

Brody, A. (2000). *Flexible Packaging Of Foods* (3st ed.). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315151007>.

Gavva, O., Kryvoplias-Volodina, L., Blazhenko, S., Tokarchuk, S., Derenivska, A. (2021) Synthesis of a precision dosing system for liquid products based on electro-pneumatic complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* [this link is disabled](#), 6(2—114), 125—135. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247187>.

Isermann, Rolf (2023). *Designs and Specification of Mechatronic Systems*. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96729-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96729-1_13).

Radovan, Furmann (2017). Interactive Design of Reconfigurable Logistics Systems — Process Intensification. *Procedia Engineering*, 192, 207-212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.036>.

Rangappa, S. M., Parameswaranpillai, J., Thiagamani, S. M. K., Krishnasamy, S., Siengchin, S. (Eds.). (2020). *Food Packaging: Advanced Materials, Technologies, and Innovations*.

Shurong, Ning (2021) Research on micro-liquid dispensing driven by a syringe pump with the consideration of air volume. *Microsystem Technologies*, 27(8), 1—14. doi: <https://doi.org/10.1007/s00542-020-05133-9>.

Sukhareva, N., Yakovlev, F., (2018). Polymers for Packaging and Containers in Food Industry. doi: <https://doi.org/10.1201/b12240>.

Tomoki, Takase (2022) Evaluating the safety and efficiency of robotic dispensing systems. *Journal of Pharmaceutical Health Care and Sciences*, 8(1). doi: <https://doi.org/10.1186/s40780-022-00255-w>.

Vavrik, V., Fusko, M. (2022) Designing of Machine Backups in Reconfigurable Manufacturing Systems. *Appl. Sci.*, 12, 2338. doi: <https://doi.org/10.3390/app12052338>.

Vazquez-Santacruz, J. A. (2023) Towards an integrated design methodology for mechatronic systems Research in Engineering Design. Springer-Verlag London Ltd., doi: <https://doi.org/10.1007/s00163-023-00416-4>.

## IMPROVEMENT OF WHEAT AND RYE PRODUCTS QUALITY WITH THE USE OF CEREAL CROPS PROCESSING PRODUCTS

L. Mykhonik, T. Kyrichok

*National University of Food Technologies*

I. Hetman, O. Naumenko

*Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of  
Ukraine*

---

### Key words:

*Sourdough of  
spontaneous fermentation  
Green buckwheat flour  
Buckwheat flakes  
Wheat-rye bread  
Nutritional value*

---

### Article history:

Received 11.10.2023  
Received in revised form  
24.10.2023  
Accepted 07.11.2023

---

### Corresponding author:

L. Mykhonik

### E-mail:

getmaninna7@gmail.com

**Citation:** Л. А. Михонік,  
Т. О. Кирічок, І. А. Гетьман,  
О. В. Науменко (2023). По-  
кращення якості пшенично-  
житнього хліба з викори-  
станням продуктів перероб-  
ки круп'яних культур.  
*Наукові праці НУХТ*,  
29(5), 77—88.  
DOI: 10.24263/2225-2924-  
2023-29-5-8

---

### ABSTRACT

It is known that green buckwheat flour is a source of proteins, soluble and insoluble dietary fibers, vitamins, minerals, antioxidants and phenolic compounds, etc. The preservation of the enzyme complex in the absence of heat treatment during the production of green buckwheat flour, the activity of which is absolutely necessary during the course of biochemical processes is important. In the conditions of the growing number of small-capacity enterprises, it is effective to implement accelerated bread technologies, including those using spontaneous leavens. The use of green buckwheat flour as a nutrient medium for starters will enrich bread with useful components of this type of flour and speed up the technological process.

It was found that the rational dosage of leaven for spontaneous fermentation from green buckwheat flour in the technology of wheat-rye bread is 30% to the mass of flour (the mass of buckwheat flour in the leaven is 15%, thus the corresponding amount of wheat flour is replaced by buckwheat).

The expediency of including 10% of buckwheat flakes and 3% of dry wheat gluten, as well as 3% of sunflower oil and 1% of dried onion in the composition of the recipe to improve the taste and aroma properties was shown. These recipe ingredients improved the consumer properties of bread, as evidenced by the increase in the comprehensive quality indicator.

It was shown that in the developed bread recipe the content of protein and dietary fiber increased by 30 and 44.1%, respectively. At the same time, coverage of the daily need for protein and dietary fibers, vitamins PP, E, macro- and micronutrients magnesium, zinc, and iron increased.

Therefore, improving the technology of bread products on spontaneous leavens from grain flour, in particular from green buckwheat flour, has a significant economic and social effect due to the improvement of their consumer properties.

## ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПШЕНИЧНО-ЖИТНЬОГО ХЛІБА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ КРУП'ЯНИХ КУЛЬТУР

Л. А. Михонік, Т. О. Кирічок

*Національний університет харчових технологій*

І. А. Гетьман, О. В. Науменко

*Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук  
України*

*Відомо, що борошно зеленої гречки є джерелом білків, розчинних і нерозчинних харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин, антиоксидантів та фенольних сполук тощо. Не менш важливим є також збереження ферментного комплексу за відсутності термічної обробки під час виготовлення борошна зеленої гречки, активність якого є вкрай необхідною під час перебігу біохімічних процесів. В умовах зростання кількості підприємств малої потужності ефективно впроваджувати прискорені технології хліба, в тому числі зі спонтанними заквасками. Використання борошна зеленої гречки як поживного середовища для заквасок дасть змогу збагатити хліб корисними складовими цього виду борошна та прискорити технологічний процес.*

*Встановлено, що раціональним дозуванням закваски спонтанного бродіння з борошна зеленої гречки в технології пшенично-житнього хліба є 30% до маси борошна (маса гречаного борошна в заквасці — 15%, таким чином відповідна кількість пшеничного борошна замінюється гречаним).*

*Показано доцільність включення до складу рецептури 10% гречаних пластівців та 3% сухої пшеничної клейковини, а також 3% олії соняшникової та 1% цибулі сушеної для покращення смако-ароматичних властивостей. Ці рецептурні інгредієнти покращують споживчі властивості хліба, про що свідчить зростання комплексного показника якості.*

*Показано, що в розробленій рецептурі хліба зростає вміст білка та харчових волокон на 30 та 44,1% відповідно. При цьому підвищується забезпечення добової потреби в білку та харчових волокнах, вітамінах РР, Е, макро- та мікронутрієнтах магнію, цинку, заліза.*

*Отже, удосконалення технологій хлібних виробів на спонтанних заквасках з борошна круп'яних культур має значний економічний і соціальний ефект завдяки покращенню їх споживчих властивостей.*

**Ключові слова:** закваска спонтанного бродіння, борошно зеленої гречки, гречані пластівці, пшенично-житній хліб, харчова цінність.

**Постановка проблеми.** Серед «масових» сортів хліба перспективними для збагачення залишається пшенично-житній хліб. Вважається, що до виробів зі зниженою харчовою цінністю належать сорти хліба із суміші пшеничного та житнього борошна, де пшеничного борошна міститься понад 60%.

Вирішити питання покращення харчової цінності можна за рахунок включення до рецептури продуктів переробки круп'яних культур (борошна, пластівців, висівок тощо). Серед наявного асортименту такої групи інгредієнтів обрано борошно зеленої гречки у складі закваски та гречані пластівці (Соколова, Котузаки, & Пожиткова, 2018).

Відсутність операції термообробки у виробництві борошна зеленої гречки дає змогу максимально зберегти весь спектр вітамінів, макро- та мікронутрієнтів, ферментного комплексу та потужні антиоксидантні властивості, оскільки до складу входять флавоноїди: орієнтин, кемпферол, кверцетин, вітексин, рутин тощо (Дубініна, Попова, & Ленерт, 2014; Dziadeka, Кореца, ... & Francik, 2016).

Однією з переваг для використання у хлібопеченні борошна зеленої гречки є на 18,5% більший вміст білка, ніж у пшеничному борошні, який добре засвоюється та зберігає в собі цінну амінокислотну базу. Крохмалю міститься на 21,8% менше, ніж у пшеничному борошні. Харчових волокон у гречаному борошні, порівняно з пшеничним, більше на 60%: вміст розчинної фракції (в тому числі,  $\beta$ -глюкани) близько 5—7%, а кількість нерозчинної фракції — близько 3—4% (Гордієнко, Семенова, Михонік, & Дробот, 2012; Tang, & Wang, 2010; Podolska, Gujska, Klepacka, & Aleksandrowicz, 2021).

У складі гречаного борошна міститься на 47,6% більше вітаміну РР, на 60% — вітаміну В<sub>2</sub>, ніж у пшеничному борошні. Серед макроелементів значно більша кількість калію, магнію, фосфору, серед мікроелементів міститься на 60% більше хрому, на 65—70% — заліза, цинку, міді, ніж у пшеничному борошні (Kowalski, 2022; Vojňanská, Frančáková, Chlebo, & Gažar, 2010).

Гречані пластівці містять до 16,5% білка, 54,0% крохмалю, 15,0% харчових волокон з них до 10,0% клітковини. Технологія приготування пластівців передбачає гідротермічну обробку, під час якої відбувається часткова денатурація білка, клейстеризація крохмалю та зростає вміст водорозчинних речовин. Ці зміни сприяють кращому засвоєнню поживних речовин зернівки (Drobot, Semenova, Smirnova, & Mukhonik, 2014). Варто звернути увагу, що гречані пластівці відрізняються яскравим смаком та ароматом, тому внесення їх навіть невеликої кількості надає виробам специфічного «гречаного» присмаку (Дробот, Михонік, Семенова, & Фалендиш, 2018).

В умовах дискретного режиму виробництва, за яким працюють підприємства малої потужності, ефективно використовувати закваски спонтанного бродіння. Враховуючи хімічний склад борошна зеленої гречки, виведення заквасок на їх основі дає змогу не тільки прискорити технологічний процес, а й збагатити вироби макро- та мікронутрієнтами, таким чином розширивши асортимент хлібобулочних виробів оздоровчо-профілактичного призначення (Семенова, Михонік, & Грищенко, 2014).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Літературний огляд показав, що більшість праць українських і зарубіжних вчених присвячено розробкам хліба з використанням продуктів переробки коричневої гречки. Також обмаль досліджень щодо використання борошна круп'яних культур як поживного середовища для заквасок.

Дослідженнями, проведеними на кафедрі технології хлібопекарських та кондитерських виробів НУХТ, встановлено, що максимальна заміна пшеничного борошна борошном зеленої гречки, яка не призводить до суттєвого погіршення

структурно-механічних властивостей тіста та якості виробів, становить 20% (Гордієнко, Семенова, Михонік, & Дробот, 2012; Drobot, Semenova, Smirnova, & Mykhonik, 2014).

Поширені дослідження щодо підвищення антиоксидантної активності, зокрема, вміст рутину у виробках з гречаним борошном. Так, в одній з праць описано, що в 250 г хліба з додаванням 30% гречаного борошна замість пшеничного (середньостатистична добова доза споживання хліба) міститься 5,8 мг/кг рутину (в пшеничному хлібі — близько 1 мг/кг) (Vojňanská, Chlebo, Horna, & Gažar, 2009). В інших дослідженнях з'ясовано, що додавання гречаного борошна збільшує сумарну кількість фенолів (Vojňanská, Frančáková, Chlebo, & Gažar, 2010), порівняно з пшеничним хлібом.

Додавання борошна зеленої гречки в рецептуру хліба для сухарних виробів у кількості до 20% від маси пшеничного борошна дає змогу отримати вироби високої якості, які відповідають вимогам нормативної документації (Bondarenko, Mykhonik, & Hetman, 2019).

Визначали також можливість використання гречаних пластівців у технології хліба з цільнозернового борошна. Дослідження властивостей напівфабрикатів і готових виробів з гречаним борошном та пластівцями показали, що тісто з гречаними пластівцями має вищу максимальну в'язкість, а хліб кращу формостійкість, питомий об'єм і пористість, порівняно з тістом та хлібом з гречаним борошном (Дробот, & Михонік, 2013; Кошельник, & Михонік, 2012).

Додавання пластівців в кількості 10—30% зумовлює зниження питомого об'єму хліба зі збільшенням їх дозування, але при цьому покращується профіль жирних кислот та зростає кількість харчових волокон (Петрусь, & Михонік, 2016; Семенова, Михонік, & Грищенко, 2014).

Використання гречаних пластівців сумісно з пшеничним і житнім борошном надає можливість виробникам розширити асортимент продукції, оптимізувати технологічний процес і подовжити терміни збереження виробами свіжості (Дробот, Михонік, Семенова, & Фалендиш, 2018; Дробот, Михонік, Тесля, & Семенова, 2013).

Дослідниками представлено результати по заміні частини житнього борошна в заквасці на нетрадиційні види борошна, зокрема гречане, спельтове, вівсяне та кукурудзяне, зважаючи на їх високу поживну цінність (Корнієнко, 2019).

Ірландськими вченими Школи харчових наук було досліджено закваски спонтанного бродіння із гречаного борошна в різних умовах ферментації та виявили в результаті широкий спектр розвиненої мікрофлори: види молочнокислих бактерій і дріжджів, які були традиційними для пшеничних і житніх заквасок, а деякі види, зокрема *Pd. pentosaceus*, *Leuc. holzapfelii*, *Lb. gallinarum*, *Lb. vaginalis*, *Lb. sakei*, *Lb. graminis*, *W. cibaria*, *Lb. plantarum* були нетрадиційними. Підвищилася харчова цінність готового хліба та тривалість зберігання, що довело ефективність додавання гречаної закваски до рецептури хліба (Moroni, Zannini, Sensidoni, & Arendt, 2012).

Іншими дослідниками сформовано безглютенову суміш з гречаного, борошна тефу, хіноїдного та рисового борошна, яку використано як живильне середовище для закваски, ферментативно активнішу і з підвищеною харчовою цінністю. Доведено, що використання такої закваски в технології безглютенового хліба поліпшує смако-ароматичний профіль хліба, зменшуючи додавання промислових пресованих дріжджів (Mixture for gluten-free fermentation: Pat. 32528U1 Czech).

Попередніми дослідженнями (Mykhonik, Hetman, & Naumenko, 2023) обґрунтовано ефективність використання закваски спонтанного бродіння з борошна зеленої гречки в технології пшенично-житнього хліба та на основі аналізу фізико-хімічних й органолептичних показників якості готових виробів обрано раціональне дозування, яке складає 30% до маси борошна (при цьому із закваскою вноситься до 15% «збродженого» гречаного борошна, таким чином відповідна кількість пшеничного борошна замінюється гречаним).

Встановлено (Гетьман, Михонік, & Кухаренко, 2020), що борошно зеленої гречки, яке вноситься із закваскою, а також гречані пластівці, здатні погіршувати структурно-механічні властивості тіста, а заміна ними пшеничного борошна в рецептурі спричиняє зниження вмісту клейковини в тісті, тому доцільно включати до складу рецептур виробів з їх додаванням 2—3% сухої пшеничної клейковини як структуроутворювача.

**Мета статті:** удосконалити технологію та споживчі характеристики пшенично-житнього хліба шляхом сумісного додавання закваски спонтанного бродіння з борошна зеленої гречки, гречаних пластівців і сухої пшеничної клейковини.

**Матеріали і методи.** Під час проведення досліджень, розробки рецептур і виробничих випробувань було використано таку основну та додаткову сировину: борошно пшеничне першого сорту згідно з ГСТУ 46.004-99 (ТМ «Наш млин», Україна), борошно житнє обдирне (ТМ «Наш млин», Україна), борошно зеленої гречки (ТМ «Органік Еко Продукт», Україна), гречані пластівці (ТМ «Сквирян-ка», Україна), дріжджі хлібопекарські пресовані (ТМ «Львівські», Україна), сіль кухонна харчова (ТМ «Добробут», Україна), цукор білий кристалічний (ТМ «Саркара продукт», Україна), олія соняшникова рафінована (ТМ «Вінницька», Україна), суха пшенична клейковина (Чехія), цибуля сушена (Індія).

Уся сировина та реактиви для проведення досліджень відповідали нормативній документації та зберігались у необхідних умовах, зазначених на маркуванні.

Рецептури пшенично-житнього хліба, які використовували в дослідженнях, наведено в табл. 1. Як контроль використовували традиційну рецептуру зі співвідношенням пшеничного та житнього борошна 70:30 із житньою закваскою спонтанного бродіння в кількості 30% до загальної маси борошна. В досліджуваній зразок додавали 30% гречаної закваски спонтанного бродіння до загальної маси борошна та 10% гречаних пластівців замість маси житнього борошна. Інші складові рецептури наведені в табл. 1.

*Таблиця 1. Рецептури пшенично-житнього хліба, які було використано для дослідження*

Найменування сировини, кг	Контроль	Зразок 1
Борошно пшеничне першого сорту	70,0	55,0
Борошно житнє обдирне	30,0	20,0
Борошно зеленої гречки	—	15,0
Гречані пластівці	—	10,0
Дріжджі хлібопекарські пресовані	1,5	2,0
Сіль кухонна харчова	1,8	1,8

*Продовження таблиці 1*

Цукор білий кристалічний	3,0	3,0
Олія соняшникова рафінована	3,0	3,0
Суша пшенична клейковина	—	3,0
Цибуля сушена	—	1,0
Гречані пластівці (посипка)	—	1,5

Тісто готували безопарним прискореним способом. Для приготування тіста цукор, сіль розчиняли у воді (температурою  $(35\pm 2)$  °C), із дріжджів готували дріжджову суспензію, змішуючи з водою у співвідношенні 1:3. Закваску спонтанного бродіння з борошна зеленої гречки готували за схемою (Mykhonik, Hetman, & Naumenko, 2023).

Змішували борошно, закваску, сольовий розчин і дріжджову суспензію, замочені у воді гречані пластівці (співвідношення пластівців з водою — 1:2), цибулю сушену. Замішування проводили за допомогою тістомісильної машини («KVL4100S», Китай) впродовж  $(10\pm 2)$  хвилин. Тривалість бродіння становила  $(90\pm 2)$  хв за температури  $(32\pm 2)$  °C до збільшення об'єму в 1,5 раза.

Далі тісто поділяли вручну на тістові заготовки масою  $(290\pm 10)$  г. Формування тістових заготовок проводили вручну і направляли на вистоювання.

Вистоювання тістових заготовок відбувалось протягом  $(40\pm 5)$  хв за температури  $(35\pm 2)$  °C в шафі для вистоювання («XLT 133-UNOX», Італія). Готовність тістових заготовок у процесі вистоювання визначали органолептично. Далі тістові заготовки направляли до печі («Unox XFT133», Італія), де вони випікались за температури 180—200 °C впродовж  $(30\pm 2)$  хвилин.

З органолептичних показників визначали стан поверхні, правильність форми, структуру пористості, еластичність, колір і розжовуваність м'якушки, аромат та смак. З фізико-хімічних показників досліджували питомий об'єм хліба за допомогою приладу марки ОХЛ та кислотність — арбітражним методом (Hetman, Mykhonik, Kuzmin, & Shevchenko, 2021).

Якість хлібобулочних виробів оцінювали за профілограмами якості, які будували на основі визначення показників, що характеризують виріб, переведення одиниць вимірювання в безрозмірні одиниці, складання математичної моделі, розрахунок комплексного показника якості готових виробів. Математична модель комплексного показника якості є нелінійною функцією значень окремих показників якості виробу та відповідає площі багатокутника, в якому відстані від його центру до вершин рівні нормованим значенням окремих показників якості, побудовою діаграми (Бурченко, 2021).

Розрахунок харчової й енергетичної цінності виробів визначали за Інструкцією (Інструкція I-158.00389676.012:2009. Розрахунок поживної та енергетичної цінності хлібобулочних виробів. Укрхлібпром).

Інтегральний скор хліба розраховували як відсоток забезпечення добової потреби в основних харчових речовинах та енергії за рахунок споживання 277 г хліба (добова норма вживання хліба) за методикою (Бурченко, 2021).

**Викладення основних результатів дослідження.** Вважаємо, що тієї кількості борошна зеленої гречки, яка міститься в заквасці, недостатньо для повноцінного

збагачення виробів есенціальними речовинами з метою надання виробам оздоровчої дії. Для цього було проведення моделювання нової рецептури пшенично-житнього хліба та виконано підбір рецептурних компонентів.

Дозування пластівців, яке дає змогу покращити хімічний склад виробів і при цьому незначно впливає на їх якість, становить 10—20%, тому в рецептуру додавали 10% пластівців. Крім того, ефективним є замочування пластівців (у співвідношенні з водою 1:2), оскільки внесення їх у сухому вигляді погіршує показники якості виробів (Дробот, Михонік, Семенова, & Фалендиш, 2018; Дробот, Михонік, Тесля, & Семенова, 2013).

Оскільки до складу рецептур хлібних виробів з додаванням продуктів переробки круп'яних культур доцільно включати суху пшеничну клейковину, для рецептури обрано її дозування в кількості 3%. Це дасть змогу покращити реологічні властивості тіста, збільшити питомий об'єм і пористість готових виробів.

Для додаткового покращення смако-ароматичних властивостей обрано цукор білий кристалічний, олію соняшникову рафіновану та цибулю сушену.

Для врахування всіх факторів, які впливають на якість розробленого виробу, проводили оцінку якості готових виробів за 100-бальною шкалою, рекомендованою МДУХП. За методикою (Бурченко, 2021) розраховано (табл. 2) комплексний показник якості (КПЯ) та побудовано профілограму якості розробленого хліба та контролю, яку зображено на рис. 1.

*Таблиця 2. Бальна оцінка якості хліба з урахуванням коефіцієнта вагомості*

Показники	Коефіцієнт вагомості	Зразки хліба	
		Контроль	Зразок 1
Стан поверхні	0,5	Гладенька, глянцева, без пухирців, тріщин і підривів (5,0)	
		2,5	2,5
Правильність форми	0,5	Куполоподібна верхня скоринка (5,0)	
		2,5	2,5
Показники	Коефіцієнт вагомості	Зразки хліба	
		Контроль	Зразок 1
Структура пористості	1,0	Пори дрібні, тонкостінні, рівномірно розподілені (5,0)	
		5,0	5,0
Еластичність м'якушки	1,0	Дуже м'яка, ніжна, еластична (5,0)	
		5,0	5,0
Колір м'якушки	1,0	Світло-коричневий (5,0)	Сірувато-коричневий (5,0)
		5,0	5,0
Аромат	1,0	Виражений оцтовокислий, властивий хлібу (4,0)	Виражений, «гречаний», властивий хлібу (5,0)
		4,0	5,0

Продовження таблиці 2

Смак	1,0	Виражений, характерний хлібний (4,0)	Виражений, з гречано-цибулевим присмаком, характерний хлібний (5,0)
		4,0	5,0
Розжовуваність м'якушки	0,5	Дуже ніжна, соковита, добре розжовується (5,0)	
		2,5	2,5
Питомий об'єм	2,5	350	365
		10,5	11,5
Кислотність	2,5	6,2	6,5
		10,5	12,5
Комплексний показник якості		92,8	98,4



Рис. 1. Профілограма якості пшенично-житнього хліба

Використання гречаної закваски спільно з підібраними рецептурними інгредієнтами дає змогу поліпшити якість пшенично-житнього хліба. Порівнюючи з контрольним зразком, спостерігається зростання КПА в пшенично-житньому хлібі за розробленою рецептурою на 6%.

За Інструкцією I-158.00389676.012:2009 було проведено розрахунки харчової цінності та калорійності виробів, порівняно з контрольним зразком. Результати наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Харчова та енергетична цінність виробів

Харчові речовини, г (мг) на 100 г виробу	Зразки хліба	
	Контроль	Зразок 1
Білки, г	8,0±1,0	10,0±1,0
Жири, г	1,5±0,3	3,3±0,3
з них насичені жирні кислоти	0,3±0,15	0,5±0,15

Вуглеводи, г	48,2±1,0	40,0±1,0
в т.ч. цукри	2,75±0,2	2,8±0,2
крохмаль	45,3±0,6	37,0±0,6
Харчові волокна, г	3,4±0,8	4,9±0,8
Вітаміни, мг:		
В <sub>3</sub> (ніацин)	-	0,5±0,15
В <sub>9</sub> (фолієва кислота)	-	4,4±0,15
РР	0,2±0,15	1,5±0,15
Харчові речовини, г (мг) на 100 г виробу	Зразки хліба	
	Контроль	Зразок 1
Н	-	2,8±0,1
Е	-	0,9±0,15
Мінеральні речовини, мг:		
Mg	18,2±0,2	50,3±0,2
P	38,4±0,2	106,3±0,2
Zn	-	0,5±0,1
Fe	0,5±0,15	2,1±0,15
Енергетична цінність, ккал/кДж	277,0±5 /1159±6	230,0±5 /962±6

Так, підібрана композиція рецептурних інгредієнтів зумовлює зростання вмісту білка та харчових волокон на 25 та 44,1%, відповідно, а кількість крохмалю зменшується на 18,3%.

За рахунок внесення продуктів переробки гречки хліб збагачується фолієвою кислотою та ніацином, а вміст вітаміну РР зростає в 7,5 раза. Вміст макро- та мікронутрієнтів (Mg, Fe, Zn, Fe) зростає в середньому в 2,8—4,2 раза. Калорійність зменшилась в розробленій рецептурі хліба на 17%.

Розраховували ступінь забезпечення добової потреби в основних нутрієнтах для жінок 30—39 років, працівників переважно розумової праці з легкою фізичною активністю (група фізичної активності — 1, коефіцієнт фізичної активності — 1,4) при споживанні 277 г хліба відповідно до Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії, затверджених наказом МОЗ України №272 від 18.11.1999.

Таблиця 4. Забезпечення добової потреби в основних нутрієнтах при споживанні 277 г пшенично-житнього хліба

Харчові речовини	Добова потреба	Міститься в 277 г хліба		Ступінь забезпечення добової потреби, %	
		Контроль	Зразок 1	Контроль	Зразок 1
Білки	52 г	22,2±1,0	27,7±1,0	42,7±1,0	53,3±1,0
Жири	53 г	4,2±0,3	9,1±0,3	7,9±0,3	17,2±0,3
Вуглеводи	304 г	116,3±1,0	110,8±1,0	38,3±1,0	36,4±1,0
Харчові волокна	25 г	9,4±0,8	13,6±0,8	37,6±0,8	54,4±0,8
Харчові речовини	Добова потреба	Міститься в 277 г хліба		Ступінь забезпечення добової потреби, %	
		Контроль	Зразок 1	Контроль	Зразок 1

Продовження таблиці 4

Вітаміни:					
В <sub>3</sub> (ніацин)	20 мг	—	1,4±0,15	—	7,0±0,15
В <sub>9</sub> (фолієва кислота)	200 мкг	—	12,2	—	6,1±0,15
РР	16 мг	0,6±0,15	4,2±0,15	3,8±0,15	26,3±0,15
Н	100 мкг	—	7,8±0,1	—	7,8±0,1
Е	15 мг	—	2,5±0,15	—	16,7±0,15
Мінеральні речовини:					
Mg	350 мг	50,4±0,2	139,3±0,2	14,4±0,2	39,8±0,2
P	1200 мг	106,4±0,2	294,5±0,2	8,9±0,2	24,5±0,2
Zn	12 мг	—	1,4±0,1	—	11,7±0,1
Fe	17 мг	1,4±0,2	5,8±0,15	8,2±0,2	34,1±0,2
Енергетична цінність	2300 ккал	637,1±5	767,3±5	27,7±5	33,4±5

При споживанні 277 г пшенично-житнього хліба підвищується ступінь забезпечення добової потреби в білках і харчових волокнах на 24,8 та 44,7 %, відповідно, порівняно з контролем.

Із вітамінів і макроелементів варто відмітити фолієву кислоту, вітамін Е та цинк, які відсутні в контрольному зразку, а в розробленій рецептурі хліба з гречаною закваскою потреба в них забезпечується на 6,1, 16,7 та 11,7% відповідно. Ступінь забезпечення добової потреби РР та заліза зріс з 3,8 та 8,2% в контролі — до 26,3 та 34,1 % в збагаченому хлібі.

## Висновки

Борошно зеленої гречки є цінним джерелом білків зі збалансованим амінокислотним складом, розчинних і нерозчинних харчових волокон, мінеральних речовин, біологічно активних сполук, органічних кислот тощо. Особливості хімічного складу цього борошна створюють передумови для його використання як поживного середовища для заквасок спонтанного бродіння. Використання таких заквасок розширить асортимент як автентичних (національних) технологій хлібопечення, так і хлібних виробів оздоровчого призначення з покращеною харчовою цінністю.

Підібрані рецептурні композиції. Так, 30% гречаної закваски спонтанного бродіння, 10% гречаних пластифікаторів та 3% сухої пшеничної клейковини в рецептуру пшенично-житнього хліба покращують споживчі властивості хліба, про що свідчить зростання комплексного показника якості.

Додавання цих інгредієнтів сприяє зростанню вмісту білка та харчових волокон на 25 та 44,1% відповідно, а кількість крохмалю зменшується на 18,3%. Вміст вітаміну РР зростає в 7,5 раза, а кількість макро- та мікронутрієнтів (Mg, Fe, Zn, Fe) зростає в середньому в 2,8—4,2 раза.

При споживанні 277 г розробленого хліба жінками 30—39 років, що зайняті розумовою працею з легкою фізичною активністю, підвищується забезпечення добової потреби в білку та харчових волокнах, вітамінах РР, Е, макро- та мікронутрієнтах магнію, цинку, заліза.

Існуючі дослідження ефективності використання нетрадиційних видів борошна в рецептурах широкого асортименту хлібних виробів підтверджують необхідність подальших досліджень у цьому напрямку.

Отримані результати досліджень можуть бути використані на виробництві при моделюванні нових і коригуванні існуючих рецептур для розвитку ринку хлібних виробів на заквасках. Апробація на виробництві розробленої рецептури пшенично-житнього хліба з використанням продуктів переробки круп'яних культур є метою наших подальших досліджень.

### Література

Бурченко Л. М. (2021). Технологія хлібобулочних виробів підвищеної харчової цінності з подовженим терміном зберігання (дисертація доктора філософії 181 «Харчові технології»). Національний університет харчових технологій. Київ.

Гетьман І. А., Михонік Л. А., Кухаренко І. О. (2020). Дослідження вуглеводно-амілазного комплексу борошна круп'яних культур і його сумішей з пшеничним. *Харчова промисловість*, 27, 46—52. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2020-27-7>.

Гордієнко Т. В., Семенова А. Б., Михонік Л. А., Дробот В. І. (2012). Білково-пшеничний хліб з гречаним борошном. *Наукові праці ОНАХТ*, 1(42), 143—146.

Дробот В. І., Михонік Л. А., Тесля О. Д., Семенова А. Б. (2013). Використання зернових пластівців у технології оздоровчих продуктів. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*, 1(98), 3—4.

Дробот В. І., Сильчук Т. А. (2016). Використання закваски спонтанного бродіння при виробництві житньо-пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ*, 22(1), 180—184.

Дробот В. І., Михонік Л. А., Семенова А. Б., Фалендиш Н. О. (2018). Борошно стародавніх пшениць, продукти переробки круп'яних культур та шроти у технології хліба: монографія. Київ: ПрофКнига.

Дубініна А., Попова Т., Ленерт С. (2014). Вітамінний і мінеральний склад крупи із гречки різних сортів. *Товари і ринки*, 2, 106—115.

Корнієнко І. М. (2019). Фізико-хімічні та мікробіологічні дослідження бездріжджових заквасок для хлібобулочних виробів функціонального призначення. *Проблеми екологічної біотехнології*, 2, 75—90. <https://doi.org/10.18372/2306-6407.2.14756>.

Кошельник Є. С., Михонік Л. А. (2012). Дослідження вуглеводно-амілазного комплексу пшеничного тіста з суцільнозмеленого зерна з додаванням гречаних пластівців. *Наукові здобутки молоді — вирішення проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів*. Київ: НУХТ.

Петрусь А. А., Михонік Л. А. (2016). Вивчення технологічних властивостей пшеничного тіста з додаванням пластівців круп'яних культур. *Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів*. Київ: НУХТ.

Семенова А. Б., Михонік Л. А., Грищенко А. М. (2014). Обґрунтування застосування вівсяних та гречаних пластівців у хлібопеченні. *Хранение и переработка зерна*, 5, 75—78.

Соколова Н., Котузаки О., Пожиткова Л. (2018). Аналіз проблем хлібопекарської галузі, стан ринку та актуальні шляхи розширення асортименту. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 18(3), 20—24. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i3.1074>.

Bojňanská T., Chlebo P., Horna A., Gažar R. (2009). Buckwheat enrichment bread production and its nutrition benefits. *European Journal of Plant Science and Biotechnolog. Global Science Books*, 3(1), 49—55.

Bojňanská T., Francáková H., Chlebo P., Gažar R. (2010). Možnosti využitia pohánky pri výrobe chleba a výhody jeho konzumácie (possibilities of using buckwheat in the production of bread and the benefits of its consumption). *Potravinárstvo (Slovak Journal of Food Sciences)*, 4(1), 8—12.

Bondarenko Yu., Mykhonik L., Bilyk O., Kochubei-Lytvynenko O., Andronovich G., Hetman I. (2019). Study of the influence of buckwheat flour and flax seeds on consumption properties of long-stored bakery products. *EUREKA: Life Sciences*, 4, 9—18. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2019.00973>.

Drobot V., Semenova A., Smirnova J., Mykhonik L. (2014). Effect of Buckwheat Processing Products on Dough and Bread Quality Made from Whole-Wheat Flour. *International Journal of Food Studies*, 3(1), 1—12. <http://dx.doi.org/10.7455/ijfs/3.1.2014.a1>.

Dziadeka K., Kopeć A., Pastucha E., Piątkowska E., Leszczyńska T., Pisulewska E., Witkowicz R., Francik R. (2016). Basic chemical composition and bioactive compounds content in selected cultivars of buckwheat whole seeds, dehulled seeds and hulls. *Journal of Cereal Science*, 69, 1—8.

Hetman I., Mykhonik L., Kuzmin O., Shevchenko A. (2021). Influence of spontaneous fermentation leavens from cereal flour on the indicators of the technological process of making wheat bread. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 492—506. <http://dx.doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-6>.

Kowalski S. (2022). Nutritional properties and amino acid profile of buckwheat bread. *Journal of Food Science and Technology*, 59 (8), 3020—3030. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05518-w>.

Moroni, A. V., Zannini, E., Sensidoni, G., Arendt, E. K. (2012). Exploitation of buckwheat sourdough for the production of wheat bread. *European Food Research and Technology*, 235(4), 659—668. <https://doi.org/10.1007/S00217-012-1790-Z>.

Mykhonik L., Hetman I., Naumenko O. (2023). Efficiency of sourdoughs of spontaneous fermentation from cereal flour in bakery technologies. *Food resources*, 20, 28—34. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-03>.

Podolska G., Gujska E., Klepacka J., Aleksandrowicz E. (2021). Bioactive Compounds in Different Buckwheat Species. *Plants*, 10, 961—980. <https://doi.org/10.3390/plants10050961>.

Tang C. H., Wang X. Y. (2010). Physicochemical and structural characterisation of globulin and albumin from common buckwheat seeds. *Food Chemistry*, 121(1), 119—126. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.016>.

## DEVELOPMENT OF THE FERMENTED WHEY BEVERAGE TECHNOLOGY

K. Datsyshyn, V. Yukalo, G. Semenyshyn

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*

---

**Key words:**

*Milk whey*

*Fermented drink*

*Whey protein concentrate*

*Soy isolate*

---

**Article history:**

Received 09.10.2023

Received in revised form  
23.10.2023

Accepted 13.11.2023

---

**Corresponding author:**

K. Datsyshyn

**E-mail:**

katkostyuk3103@gmail.com

**Citation:** К. Є. Дацишин, В. Г. Юкало, Г. М. Семенишин (2023) Розроблення технології ферментованого сироваткового напою. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 89—98.  
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-9

**ABSTRACT**

---

Whey is a by-product of cheese and casein production and one of the most valuable sources of dietary protein. Its amount is 80—90% of the total volume of milk received for processing. Proteins are one of the most valuable components of whey, which differ in structure and properties and are especially rich in essential amino acids — compared to casein, they contain more amount of lysine and tryptophan. The amount of essential amino acids is significantly higher not only compared to proteins of vegetable origin, but also to some proteins of meat and fish.

In order to expand the range of dairy products, as well as to enrich them with nutrients, along with the main raw materials, vegetable products are used. It is well known that legumes, in particular soybeans and peas, are a source of valuable vegetable protein. Mainly dairy products that are widely consumed, available to all population groups and are included in the daily diet are to be combined. Plant proteins are used in fermented beverages for various purposes. Their use for the production of low-fat dairy products with an increased level of protein is promising. In addition, it is economically justified to use such raw materials as stabilizers. Therefore, the goal of the work was to develop the technology of whey fermented drink enriched with whey protein concentrate and soy isolate solution. Drink samples with different ratios of these components were used for research: 90:10; 80:20; 70:30. To provide the product with good sensory indicators, apple pectin and carrot juice in the amount of 10%, 15% and 20% of the mass of the mixture were added to the recipe. Sensory and physicochemical indicators were determined in the obtained product. On the basis of the conducted sensory studies, as well as taking into account the indicators of acidity, moisture-holding capacity and the degree of syneresis, and their change during the recommended storage period, it was established that the optimal ratio of whey and soy isolate solution for the production of this type of product is 80:20, and the amount of carrot juice is 15 and 20% of the mixture mass. The introduction of this technology into production will make it possible to expand the assortment of fermented drinks based on milk whey and products with a high protein content, which can be recommended for the nutrition of athletes and active people.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-9

---

## РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФЕРМЕНТОВАНОГО СИРОВАТКОВОГО НАПОЮ

К. Є. Дацишин, В. Г. Юкало, Г. М. Семенишин

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Молочна сироватка є побічним продуктом виробництва сирів та казеїну і одним із найцінніших джерел харчового білка. Кількість її становить 80—90% від загального обсягу молока, що надходить на переробку. Білки є однією із найбільш важливих складових частин сироватки, які відрізняються за структурою та властивостями і особливо багаті на незамінні амінокислоти — порівняно з казеїном вони містять більше лізину і триптофану. Кількість незамінних амінокислот у них значно вища не лише порівняно з білками рослинного походження, а й з деякими білками м'яса та риби.*

*Для розширення асортименту молочних продуктів, а також для збагачення їх поживним речовинами, поряд із основною сировиною, застосовують рослинну. Добре відомо, що бобові, зокрема соя, горох, є джерелом цінного рослинного білка. Комбінуванню підлягають в основному молочні продукти, які масово вживаються, доступні всім групам населення та входять у щоденний раціон харчування. Рослинні білки використовують у ферментованих напоях з різною метою. Перспективним є їх використання для випуску низькожирної молоковмісної продукції з підвищеним рівнем білка. Крім того, таку сировину економічно виправдано використовувати як стабілізатори. У статті розроблено технологію сироваткового ферментованого напою, збагаченого концентратом сироваткових білків і розчином соєвого ізоляту. Для проведення досліджень було використано взірці напою з різним співвідношенням даних компонентів: 90:10; 80:20; 70:30. Для надання продукту відповідних органолептичних показників у рецептуру було введено пектин яблучний і морквяний сік у кількості 10%, 15% та 20% від маси суміші. В отриманому продукті проводили визначення органолептичних і фізико-хімічних показників. На основі проведених органолептичних досліджень, а також враховуючи показники кислотності, вологостримувальної здатності і ступеня синерезису, та їх зміну протягом рекомендованого терміну зберігання, встановлено, що оптимальним співвідношенням сироватки та розчину соєвого ізоляту для виготовлення такого типу продукту є 80:20, а кількість морквяного соку 15% та 20% від маси суміші. Впровадження у виробництво розробленої технології надасть можливість розширити асортимент ферментованих напоїв на основі молочної сироватки та продуктів із підвищеним вмістом білка, що можуть бути рекомендованими для харчування спортсменів та активних людей.*

**Ключові слова:** *молочна сироватка, ферментований напій, концентрат сироваткових білків, соєвий ізолят.*

**Постановка проблеми.** Молочна сироватка є вторинною сировиною при виробництві казеїну, сирів і сиру кисломолочного та одним із найважливіших джерел повноцінного білка. Останні дослідження показують, що сироватковий бі-

лок — це, мабуть, найцінніший у харчовому відношенні білок. Не дивно, що харчові ринки спортивного, клінічного та дитячого харчування сприяють безпрецедентному рівню інвестицій у виробництво молока. Однак, незважаючи на її корисні властивості, більша частина молочної сироватки просто зливається у стічні води і становить загрозу для навколишнього середовища, тому актуальним питанням сьогодення залишається пошук шляхів реалізації та використання молочної сироватки, а також можливих варіантів її переробки на харчові продукти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом на ринку харчування все більшої популярності набуває дієтичне та спортивне харчування з підвищеним вмістом білкових речовин. Для зростання силових показників, а також для відновлення всіх тканин організму спортсменам та активним людям потрібно споживати достатню кількість білка (Deeth, & Bansal, 2019). Особливий інтерес до молочної сироватки як загалом, так і до окремих її компонентів виявляють виробники продуктів харчування для спортсменів. Спортивне харчування — це відносно новий напрям у харчовій промисловості, тому ринок таких продуктів в Україні представлений в основному продукцією імпортного виробництва.

Сироватковий білок особливо підходить для спортивного харчування через високий вміст у ньому амінокислот з розгалуженим ланцюгом (АРЛ) (лейцин, ізолейцин і валін) (Dillon, 2013). Вміст АРЛ та лейцину у сироваткових білках складають 26 та 14 г на 100 г білка відповідно, що є вищим, ніж у будь-яких інших харчових білках (наприклад, м'яса: 18 і 8 г; сої: 18 і 8 г; пшениці: 15 і 7 г) (Deeth, & Bansal, 2019). Порівняно з теоретичним середнім значенням, обчисленим для інших білків,  $\beta$ -LG містить на 17% більше незамінних амінокислот, на 33,5% більше АРЛ і на 74% більше лейцину (Guo, & Wang, 2019). Амінокислоти з розгалуженим ланцюгом переважно метаболізуються м'язами, а не печінкою. Їх споживання інтенсифікує синтез білків і знижує рівень їх розпаду. Це пов'язано із здатністю амінокислот з розгалуженими ланцюгами активувати ключові ферменти, що беруть участь у синтезі білків у м'язах (Wolfe, 2017). Встановлено, що амінокислоти з розгалуженим ланцюгом також позитивно впливають на синтез білків м'язів у літніх людей (Dickinson, Volpi, & Rasmussen, 2013; Dickinson et al., 2014).

Останнім роками також набуло популярності використання рослинних білків, зокрема сої, у виробництві продуктів спеціального призначення (Hu, Liu, Wang, Yang, & Shao, 2022). Для спортсменів соєвий протеїн сприяє покращенню спортивних показників (Paul, & Mendelson, 2015). Підвищення ефективності відновних процесів, а також зменшення вираженості больового синдрому і запалення відбувається завдяки наявності ізофлавоноїдів (Zare et al., 2023). Крім того, соя забезпечує м'язову тканину всіма необхідними амінокислотами, і за допомогою соєвого протеїну м'язи стають і більшими, і сильнішими. Спортсмени, які включають у свій раціон і соєвий, і сироватковий протеїн, мають можливість отримати ряд додаткових переваг, обумовлених різними темпами розщеплювання і всмоктування амінокислот (Li, 2021). Сироватковий протеїн розщеплюється швидко, тоді як соєвий білок всмоктується поступово. Разом же вони забезпечують тривалий і рівномірний вступ амінокислот до основних м'язових груп (Kraemer et al., 2013; Silva, Carminatia, Junior, & Lollo, 2019; Zare et al., 2023).

Із вищенаведеної інформації можна зробити висновок про актуальність використання молочної сироватки як сировини для різноманітних продуктів харчування, зокрема ферментованих і неферментованих напоїв. Особливий інтерес становить її використання для виробництва спортивного харчування, зокрема і в поєднанні з білками рослинного походження, що сприятиме вищій харчовій та біологічній цінності таких продуктів.

**Мета статті:** розробити технологію сироваткового ферментованого напою, збагаченого концентратом сироваткових білків і соєвим ізолятом.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі **завдання дослідження:**

- провести підбір рецептурних компонентів і встановити їх оптимальне співвідношення;
- розробити технологію та рецептуру ферментованого сироваткового напою, збагаченого концентратом сироваткових білків і соєвим ізолятом;
- провести органолептичну оцінку та дослідити фізико-хімічні показники взірців сироваткового напою, збагаченого концентратом сироваткових білків і соєвим ізолятом.

**Матеріали і методи.** Для проведення досліджень було використано таку сировину: сироватку молочну підсирену; концентрат сироваткових білків («Mecovita», Poland); ізолят білків сої («Sinoglogy», China); цукор ванільний згідно з ТУ У 10.8-01553439-008:2016; пектин яблучний відповідно до ДСТУ 6088:2009; свіжоотриманий морквяний сік (рН 6,42; вміст сухих речовин 12%); закваска прямого внесення Йогурт («Vivo»), що містить у своєму складі чотири штами: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*.

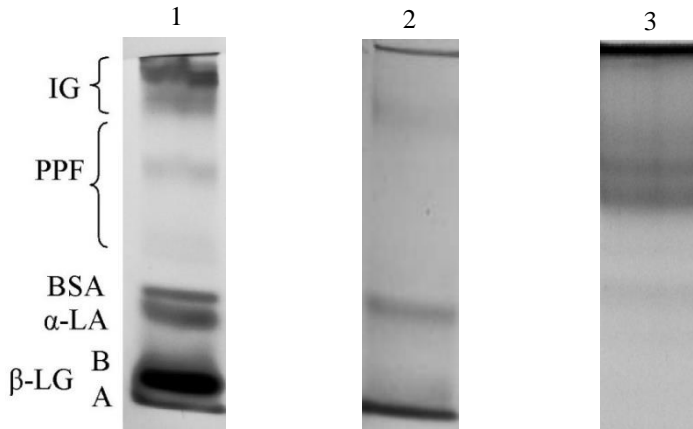
Активну кислотність визначали потенціометрично на рН-метрї марки рН 150 МИ; визначення показників титрованої кислотності та ступеня синерезису проводили за загальноприйнятими методиками. Вологоутримувальну здатність (ВУЗ) досліджуваних зразків визначали центрифугуванням 10 г продукту при 4500 об/хв протягом 30 хв при 4 °С. Розрахунок проводили згідно з (Poltavska, & Kovalenko, 2014). Для оцінювання органолептичних показників (смак, запах, консистенція, зовнішній вигляд, колір) було створено дегустаційну комісію. Визначення проводили при температурі 18...22 °С.

Для характеристики соєвого ізоляту використовували лужну систему (рН 7,9), що включала 4,5 М сечовину (Yukalo, Storozh, Datsyshyn, & Krupa, 2018). Експрес-електрофорез сироватки та концентрату сироваткових білків проводили, як описано у (Yukalo, Datsyshyn, & Storozh, 2019).

Точність результатів гарантується триразовим повторенням експерименту. Отримані вимірювання були розраховані за допомогою стандартної статистичної програми Microsoft Excel. За допомогою цієї програми здійснювали також графічне представлення експериментальних даних.

**Результати і обговорення.** Для розширення асортименту ферментованих напоїв на основі молочної сироватки, що можуть бути рекомендовані для осіб, які потребують у своєму раціоні підвищених кількостей білка, запропоновано технологію ферментованого напою на основі молочної сироватки, збагаченого концентратом сироваткових білків і соєвим ізолятом. Як основу для виробництва напою

було використано підсирну сироватку, а також концентрат сироваткових білків (КСБ) («Mescovita», Польща) та ізолят соєвого білка («Sinoglogy», Китай). Для характеристики основних складових компонентів було проведено електрофорез у пластинках поліакриламідного гелю (рис. 1). Результати електрофорезу вказують на присутність основних фракцій протеїнів сироватки молока у підсирній сироватці. У концентраті сироваткових білків частина білків, зокрема BSA та імуноглобуліни, знаходяться в денатурованому вигляді. Соєвий ізолят показав характерну електрофореграму в цій системі електрофорезу.



**Рис. 1.** Електрофореграми підсирної сироватки (1) та КСБ (2), отримані з допомогою експрес-електрофорезу; електрофореграма соєвого ізоляту (3), отримана в результаті електрофорезу у присутності сечовини

Для виготовлення ферментованого сироваткового напою було взято сухий концентрат сироваткових білків і 10% розчин соєвого ізоляту в таких співвідношеннях: 70:30, 80:20 та 90:10. Також у рецептуру для покращення органолептичних показників було введено морквяний сік (10%, 15% та 20% від маси нормалізованої суміші) та яблучний пектин. Сік моркви включає велику кількість пектину, який є хорошим гелеутворювачем. Також використання морквяного соку надасть продукту привабливого кольору. Окрім того, він містить калій, вітаміни А, К і С, каротиноїдні пігменти лютеїн і зеаксантин, які діють як антиоксиданти.

Застосування яблучного пектину у складі продукту забезпечує формування однорідної консистенції без відділення вільної вологи у процесі реалізації і зберігання. Для встановлення оптимальної кількості пектину було приготовлено дослідні взірці з різним його вмістом, від 1 до 50 г на 1000 кг продукту. Для виготовлення ферментованого напою на основі сироватки було взято кількість пектину 2 г на 1000 кг напою, оскільки взірці напою з вищим вмістом пектину не мали в'язкої консистенції, згусток був щільним, легко коловся на дрібні частинки, характерним було відділення сироватки від згустка. Це свідчить про те, що кількість внесеного пектину була зовеликою, однак, порівняно з взірцем без пектину, взірці

з пектином мали більш задовільний зовнішній вигляд і консистенцію. Рецептурний склад виготовлених взірців ферментованого сироваткового напою наведено в табл. 1.

*Таблиця 1. Рецептурний склад досліджуваних взірців, в кг на 1000 кг*

Рецептурні компоненти		Сироватка	10% розчин соєвого ізоляту	Сік морквяний	Пектин яблучний	КСБ	Ванільний цукор
70:30	1	558,6	239,4	100	2	50	50
	2	488,6	209,4	200	2	50	50
	3	525,6	222,4	150	2	50	50
80:20	4	638,4	159,6	100	2	50	50
	5	597,7	150,03	150	2	50	50
	6	558,4	139,6	200	2	50	50
90:10	7	673,2	74,8	150	2	50	50
	8	718,2	79,8	100	2	50	50
	9	628,2	69,8	200	2	50	50
Контроль	K1	1000	—	—	—	—	—
	K2	718	179	—	2	50	50

Виготовлення напою проводили в термостатній камері. Технологічний процес здійснювали у такій послідовності:

- приготування нормалізованої суміші: підсирна сироватка, сухий концентрат сироваткових білків і 10% розчин соєвого ізоляту;
- змішування яблучного пектину з морквяним соком, витримування 30 хв;
- внесення морквяного соку з яблучним пектином у нормалізовану суміш;
- гомогенізація (50—70 °С, тиск 12,5 МПа) та теплова обробка (72±2 °С, 15—20 с) суміші;
- охолодження та заквашування суміші;
- сквашування при 40—45 °С, 4—5 год;
- охолодження, фасування, зберігання (2—4 °С).

Тривалість сквашування контрольного та досліджуваних взірців напою становила від 4 до 5 годин.

Досліджувані взірці мали морквяне забарвлення, інтенсивність була більшою в тих екземплярів, що містили більший відсоток морквяного соку. Смак — приємний, морквяно-кисломолочний з легкою кислинкою та присмаком ванільного цукру.

Дані проведених органолептичних досліджень свідчать про те, що більшість дослідних взірців відповідають вимогам нормативних документів, які висуваються до ферментованих напоїв. Контрольний взірець 1 (K1), що містив лише підсирну сироватку та закваску, не мав характерного для кисломолочних напоїв згустку, а контрольний взірець 2 (K2) характеризувався значним відділенням сироватки. Взірці під номерами 1, 2 та 6 мали легкий гіркуватий присмак і відшарування сироватки після сквашування. Для взірця 7 також було характерним від-

шарування сироватки у значній мірі. Найкращими були органолептичні показники взірців 3, 5, 6, 8 та 9. Вадою продуктів цієї групи може бути відділення рідини під час зберігання, тому дослідження зміни органолептичних показників ми проводили протягом семи діб. За їх результатами зроблено висновок, що для більшості досліджуваних взірців дані показники залишаються незмінними протягом досліджуваного періоду. У 7 взірця до закінчення вказаного періоду спостерігалось значне відділення сироватки на поверхні напою, у 8 та 9 досліджуваних взірців характерною була незначна кількість виділеної рідини на поверхні. Смак і забарвлення залишались без помітних змін. Це дає змогу рекомендувати зберігання розробленого продукту протягом визначено часу. Однак, окрім органолептичних характеристик, необхідно здійснити аналіз фізико-хімічних показників.

Титрована кислотність є однією з найважливіших характеристик ферментованих напоїв. Зміну показників титрованої та активної кислотності наведено на рис. 2 та 3. Найнижчими показниками титрованої кислотності характеризувались взірці 8 та 9, для яких вона знаходилась у межах від 36 до 38 °Т у день виготовлення та підвищилась до 56—60 °Т через 7 діб. Потрібно відмітити, що у всіх взірців до 7 доби значення титрованої кислотності підвищувались у порівнянні і тими, що були зафіксовані в день виготовлення.

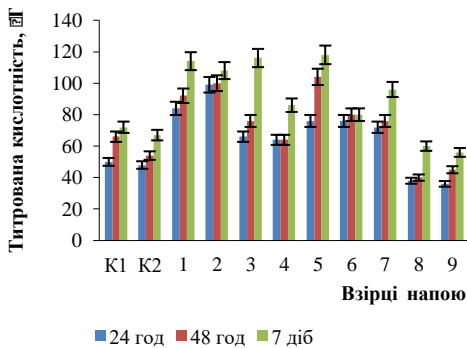


Рис. 2. Показники титрованої кислотності досліджуваних взірців

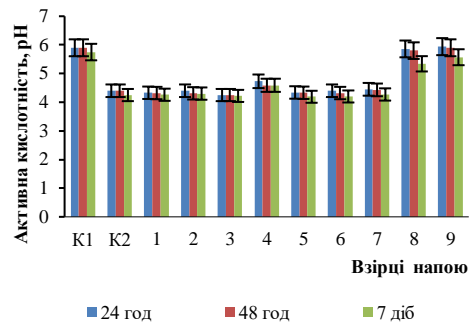


Рис. 3. Показники активної кислотності досліджуваних взірців

Значення цього показника для всіх взірців було в межах, що регламентують нормативні документи для продуктів цієї групи. Варто відмітити, що показник титрованої кислотності був на досить низькому рівні у двох із трьох досліджуваних взірців, що містили найбільшу кількість молочної сироватки. Порівнюючи ці значення з контрольними взірцями, можемо стверджувати, що таке співвідношення сироватки до соєвого ізоляту в рецептурі напою не є оптимальним, оскільки вимагає більше часу для досягнення регламентованих показників кислотності. З цієї групи досліджуваних взірців найактивніше наростала титрована кислотність у взірці 7, що містив 15% морквяного соку у своєму складі. Показники активної кислотності були найвищими в контрольного взірця 1, а також у досліджуваних 8 та 9, що підтверджує наші спостереження при дослідженні показника

титрованої кислотності.

Ступінь синерезису є одним із показників властивостей кисломолочних напоїв, що дає змогу визначити міцність сквашеного згустка. Дослідження здійснювали при температурі 18—20 °С через 15 та 30 хв після початку досліду. Результати дослідження цього показника наведено на рис. 4. Із результатів видно, що найвищий показник ступеня синерезису має контрольний взірець 1, досліджувані зразки 1, 3 та 4. Найнижчим ступінь синерезису був у взірця 8, що містив найбільшу кількість сироватки.

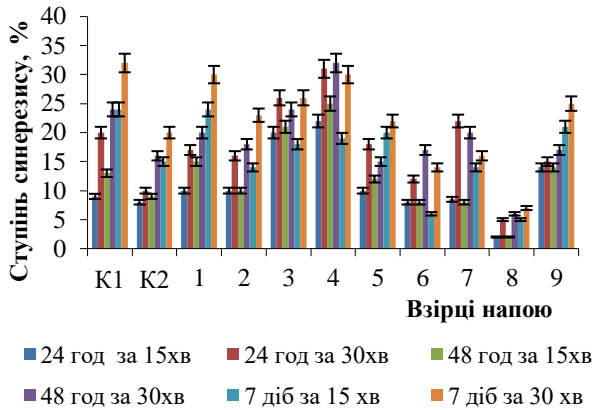


Рис. 4. Визначення ступеня синерезису досліджуваних взірців

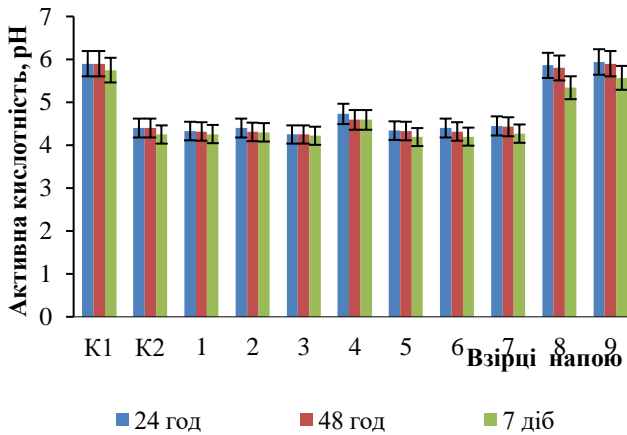


Рис. 5. Показники вологоутримувальної здатності

Вологоутримувальна здатність ферментованих напоїв характеризує здатність згустка утримувати вологу. Враховуючи дані досліджень, що наведені на рис. 5, можна відзначити те, що вологоутримувальна здатність усіх взірців коливається у межах від 25,8 до 42,6 та у межах від 25,1 до 43,7 через 7 діб від початку проведення експерименту.

Лише у взірця 9 вологоутримувальна здатність через 7 діб після виготовлення опустилась до значення 10,7. Найнижчим показником характеризувався контрольний взірець 1 (від 7 до 13,1). Контрольний взірець 2 має показник вологоутримувальної здатності вищий від контрольного взірця 1, однак все ж таки він є значно нижчим від вологоутримувальної здатності інших досліджуваних взірців. Високе значення цього показника в інших досліджуваних взірцях забезпечується використанням яблучного пектину та морквяного соку. Найкращими показниками вологоутримувальної здатності характеризувались досліджувані взірці 2 та 5.

### Висновки

1. Розроблено технологію ферментованого напою на основі підсирної сироватки, збагаченого концентратом сироваткових білків і соєвим ізолятом, в рецептурі якого для досягнення хороших органолептичних показників та необхідної вологоутримувальної здатності було використано пектин яблучний і морквяний сік.

2. Оптимальним співвідношенням підсирної сироватки та розчину соєвого ізоляту при виготовленні ферментованого напою є 80:20, при цьому досягається значення кислотності напою, що відповідає вимогам нормативних документів. Найкращими органолептичними (смак, колір, консистенція) та фізико-хімічними показниками характеризувались взірці 5 та 6, що містили 2 г пектину та 15% і 20% морквяного соку. На основі проведених досліджень встановлено рекомендований термін зберігання ферментованого сироваткового напою 7 діб при температурі 2—4 °С.

3. Враховуючи рецептурний склад і підвищений вміст повноцінних сироваткових білків та соєвого ізоляту, розроблений ферментований напій може бути рекомендованим для харчування спортсменів і людей, які ведуть активний спосіб життя.

### Література

Deeth, H., & Bansal, N. (Eds). (2019). *Whey Proteins From Milk to Medicine*. London: Academic Press.

Dickinson, J. M., Gundermann, D. M., Walker, D. K., Reidy, P. T., Borack, M. S., Drummond, M. J. (2014). Leucine-enriched amino acid ingestion after resistance exercise prolongs myofibrillar protein synthesis and amino acid transporter expression in older men. *Journal of Nutrition*, 144(11), 1694—1702. doi: 10.3945/jn.114.198671.

Dickinson, J. M., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2013). Exercise and nutrition to target protein synthesis impairments in aging skeletal muscle. *Exercise and Sport Science Review*, 41, 216—223. doi: 10.1097/JES.0b013e3182a4e699.

Dillon, E. L. (2013). Nutritionally essential amino acids and metabolic signaling in aging. *Amino Acids*, 45(3), 431—441. doi: 10.1007/s00726-012-1438-0.

Kraemer, W. J., Solomon-Hill, G., Volk, M. B., Kupchak, B. R., Looney, D. P., Dunn-Lewis, C., ..., Volek, J. S. (2013). The effects of soy and whey protein supplementation on acute hormonal responses to resistance exercise in men. *Journal of the American College of Nutrition*, 32(1), 66—74. doi: 10.1080/07315724.2013.770648.

Silva, S. M. M., Carminatia, B. C., Junior, V. A. S. & Lollo P. C. B. (2019). Comparison of the Effects of Soy Protein and Whey Protein Supplementation during Exercise: a Systematic Review. *Journal of Health Sciences*, 21(4), 397—403. doi: 10.17921/2447-8938.2019v21n4p397-403.

Greg, P., & Mendelson, G. J. (2015). Evidence Supports the Use of Soy Protein to Promote Cardiometabolic Health and Muscle Development. *Journal of the American College of Nutrition*, 34(1), 56—59. doi: 10.1080/07315724.2015.1080531.

Guo, M., & Wang, C. (2019). Chemistry of Whey Proteins In: M. Guo (Ed.), *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications* (51—77). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Hu, G.-G., Liu, J., Wang, Y.-H., Yang, Z.-N. & Shao, H.-B. (2022). Applications of Plant Protein in the Dairy Industry. *Foods*, 11(8), 1067. <https://doi.org/10.3390/foods11081067>.

Li, C., Meng, H., Wu, S., Fang, A., Liao, G., Tan, X., ..., Zhu, H. (2021). Daily Supplementation With Whey, Soy, or Whey-Soy Blended Protein for 6 Months Maintained Lean Muscle Mass and Physical Performance in Older Adults With Low Lean Mass. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 121(6), 1035—1048. doi: 10.1016/j.jand.2021.01.006.

Poltavska, O., & Kovalenko, N. (2014). Effect of functional fiber on viability of lactic acid bacteria and bifidobacteria during storage. *Food science and technology*, 4(29) 22—27.

Yukalo, V. G., Storozh, L. A., Datsyshyn, K. Ye., & Krupa, O. M. (2018). Electrophoretic systems for the preparative fractionation of proteins-precursors of bioactive peptides from cow milk. *Food science and technology*, 12(2), 26—32.

Yukalo, V., Datsyshyn, K., & Storozh, L. (2019). Electrophoretic system for express analysis of whey protein fractions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(11 (98)), 37—44. doi: 10.15587/1729-4061.2019.160186.

Wolfe, R. R. (2017). Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: myth or reality? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(30). doi: 10.1186/s12970-017-0184-9.

Zare, R., Devrim-Lanpir, A., Guazzotti, S. Redha, A. A., Prokopidis, K., ... Aragon, A. A. (2023, Aug. 21). Effect of Soy Protein Supplementation on Muscle Adaptations, Metabolic and Antioxidant Status, Hormonal Response, and Exercise Performance of Active Individuals and Athletes: A Systematic Review of Randomised Controlled Trials. *Sports Medicine*. doi: 10.1007/s40279-023-01899-w.

## INFLUENCE OF THE FLAVONOID QUERCETIN ON THE MICROORGANISMS OF FRESHLY FISH AND THE CONTENT OF AMINO-AMMONIUM NITROGEN DURING HYPOTHERMAL STORAGE

V. Yevlash, L. Gazzavi-Rogozina, I. Piliugina

*State Biotechnological University*

O. Falko, V. Chizhevskiy

*Institute for Problems of Cryobiology and Cryomedicine of the National Academy of Sciences of Ukraine*

---

### Key words:

*Fish products*

*Carp*

*Phenolic compounds*

*Quercetin*

*Spoilage*

*Microflora*

*MAFAnM*

*Amino-ammonia nitrogen*

### Article history:

Received 03.07.2022

Received in revised form

19.07.2022

Accepted 13.08.2022

---

### Corresponding author:

L. Gazzavi-Rogozina

**E-mail:**

gazzavi@ukr.net

**Citation:** Євляш В. В., Газзаві-Рогозіна Л. В., Пілюгіна І. С., Фалько О. В., Чижевський В. В. Вплив флавоноїду кверцетину на мікроорганізми свіжовиловленої риби та вміст аміно-аміачного азоту при гіпотермічному зберіганні. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 99—110..

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-10

---

### ABSTRACT

Fish is consumed all over the world because of its abundant nutrition and delicious taste. However, it has high moisture content, abundant unsaturated fatty acids and strong microbial activity. It is a perishable product during storage due to oxidation, endogenous enzymes and bacteria. Thus the fish is prone to spoilage, affecting the product quality and reducing the market value. In order to ensure the quality and safety of fish during storage and transportation, it is necessary to adopt specific preservation methods. Traditional preservation methods mainly include freezing storage, chilled storage and chemical preservation. Adding food preservatives is the most direct and effective method of delaying oxidation and spoilage of fish products during storage and processing. Recently, polyphenols have been increasingly used as natural preservatives in the food industry because of their excellent antioxidant and antibacterial properties.

The results of the study of the influence of the flavonoid quercetin and quercetin clathrate on microorganisms of freshly caught mirror carp and the content of amino-ammonium nitrogen during hypothermic storage at temperatures of +2 °C and 5±1 °C were presented. A bacterioscopic study of the freshness of fish was carried out using the Gram-stained smear method, changes in the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms and the content of amino-ammonium nitrogen during storage for 6 and 9 days were determined. It was established that giving quercetin and quercetin clathrate in the amount of 0.4 g/l and 2.0 g/l is the most effective in suppressing the development of microflora of mirror carp for further conservation.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-10

## ВПЛИВ ФЛАВОНОЇДУ КВЕРЦЕТИНУ НА МІКРООРГАНІЗМИ СВІЖОВИЛОВЛЕНОЇ РИБИ ТА ВМІСТ АМІНО-АМІАЧНОГО АЗОТУ ПРИ ГІПОТЕРМІЧНОМУ ЗБЕРІГАННІ

**В. В. Євлаш, Л. В. Газзаві-Рогозіна, І. С. Пілюгіна**

*Державний біотехнологічний університет*

**О. В. Фалько, В. В. Чижевський**

*Інститут проблем кріобіології і кріомедицини НАН України*

*Риба — це продукт високої харчової цінності, оскільки містить білки (13—23%), жири (0,1—33%), мінеральні речовини (1—2%), вітаміни А, D, E, В<sub>1</sub>, В<sub>12</sub>, РР, С, екстрактивні речовини і вуглеводи. Це продукт швидкого псування під час зберігання через окиснення, ендogenous ферменти та бактерії, тому з моменту вилову до остаточної обробки риба повинна перебувати в умовах, що гальмують розвиток автолітичних і бактеріальних процесів. Швидкоплинність цих процесів залежить від температури навколишнього середовища, а також від виду риби. Існує багато способів і шляхів подовження термінів зберігання свіжовиловленої риби. Рибу охолоджують відразу ж після улову. Охолодження проводять чистим льодом або охолодженою водою з додаванням антисептиків і антиокислювачів або без них. Також для подовження термінів зберігання рибу піддають заморожуванню, для цього застосовують природний і штучний холод, льодосоляну суміш і розсільний спосіб. З метою зменшення мікробіологічного обміненія, уповільнення процесів окиснення та псування свіжої риби, завітрювання, втрати природного кольору та вологості для обробки риби використовують харчові консерванти.*

*У той же час, порівняно з синтетичними антиоксидантами, розробка натуральних, нетоксичних, низькотемпературних, більш ефективних біологічних консервантів, заснованих на антибактеріальному та антиоксидантному механізмі біологічних агентів, більш прийнятна для споживачів. Тип і молекулярна структура поліфенолів впливають на їх антиоксидантну та антибактеріальну ефективність.*

*У статті досліджено вплив флавоноїду (кверцетин і кверцетин клатрат) на мікрофлору коропа дзеркального та вміст аміно-аміачного азоту в ньому в умовах гіпотермічного зберігання.*

**Ключові слова:** *рибна продукція, короп, фенольні сполуки, псування, мікрофлора, МАФАНМ, аміно-аміачний азот.*

**Постановка проблеми.** *Продукція рибної промисловості — це морські та прісноводні гідробіонти, включаючи рибу, креветки, краби, молюски, водорості тощо. Ця продукція більш схильна до псування, ніж наземні тварини через високий вміст води, ендogenous ферменти та нейтральний рН порівняно з продуктами тваринного походження (Kluga, & Kasaniová, 2017; Luan, Fu, Yuan, Ishimura та ін.,*

2017). Зміна органолептики та поява шкідливих речовин при обробці та зберіганні, впливає на широкі довгострокові продажі цих продуктів (Blackburn, 2006), тому велике практичне значення має покращення поживних властивостей і продовження терміну зберігання рибної продукції.

Щоб гарантувати якість і збереження риби при зберіганні та транспортуванні, необхідно використовувати спеціальні методи консервації. Традиційні методи консервації в основному включають заморожування, охолодження та хімічну консервацію. Морозильне сховище споживає багато енергії і кристали льоду легко призводять до зміни якості риби. Охолодження риби не здатне повністю пригнітити біохімічні реакції та бактеріологічну активність, що впливають на смак, колір, консистенцію та поживну цінність риби. Хімічна консервація ефективна, але створює ризик для здоров'я споживачів. Консервація при частковому заморожуванні ефективно пригнічує розмноження мікроорганізмів, активність ендогенних ферментів, але в процесі утворюються крихітні кристали льоду, що призводить до змін якості риби (Fanghui, Shao, Xiaoye, & Ma, 2022).

Останнім часом поліфеноли все частіше використовуються як натуральні консерванти в харчовій промисловості через їх антиоксидантні та антибактеріальні властивості. Різні поліфеноли мають фітохімічні та біологічні властивості. Кверцетин — флавоноїд, який має дуже великий антиоксидантний ефект (Fanghui, Shao, Xiaoye, & Ma, 2022), тому є актуальним вивчення можливості використання флавоноїдів для покращення якості та продовження терміну зберігання рибної продукції в умовах гіпотермічного зберігання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ключові фактори псування рибної продукції при зберіганні — це розкладання білків, ліпідів та дія мікроорганізмів. Свіжовилловлена риба може бути в значній мірі контамінована мікроорганізмами. Рівень контамінації і якісний склад мікроорганізмів залежать від ряду умов: сезону та способу лову, температури та ступеня забруднення води, глибини проживання риби. Якісний склад мікрофлори, що знаходиться на поверхні риби, близький до мікрофлори води. У рибі, вилловленій у холодних і помірних регіонах та в холодний час в будь-яких широтах, переважали представники психрофільних, безспорових, грамнегативних бактерій, що відносяться до родів *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*. У теплу пору року і в теплих водах поверхнева мікрофлора шкірних покривів риб представлена мезофільною мікрофлорою — різними видами мікрококів, коринебактерій. Деякі з вказаних бактерій володіє протеолітичними, жиророзщеплювальними, кислотоутворюючими властивостями. Найбільш активні протеолітичні ферменти мають бактерії родин *Pseudomonas* і *Achromobacter*. Число клітин мікроорганізмів у м'язовій тканині риби, що досягає  $8 \cdot 10^5$  в 1 г, є максимальним щодо придатності риби для харчування. (Austin, 2006; Terentjeva та ін., 2015; Gram, & Dalgaard, 2002; Davies та ін., 2001).

Додавання харчових консервантів — це найбільш прямий та ефективний метод щодо уповільнення окиснення і псування продукції рибної промисловості при зберіганні та обороті. Однак дослідження показали, що деякі синтетичні хімічні речовини, такі як трет-бутилгідрокінон (ТВНҚ), пропілгалат (PG), бутилгідроксіанізол (ВНА), дибутилгідрокси толуол (ВНТ) і сорбат калію становлять певну небезпеку, ризики пов'язані з можливістю викликати рак, тератогенез чи мутагенність (Soladoye та ін., 2015; Silva та ін., 2020; Wang T. T., 2017).

У наш час фітохімічні речовини пропагуються як безпечні, екологічні, біологічні консерванти, які діляться на поліфеноли, каротиноїди, фітостерини,  $\beta$ -глікозиди залежності від їх хімічної структури (Higdon, & Drake, 2013). Поліфеноли мають бактеріцидну, антиоксидантну та інгібуючу дію (Oroku-Temeng, & Sintim, 2016). Поліфенольні екстракти можуть бути отримані з фруктів, овочів та спецій.

Наприклад, поліфеноли чаю складають 10—15% сухих речовин зеленого чаю, включаючи флаванони, флавоноли, фенольні сполуки кислоти, дубильні речовини, теафлавіни та теарубігіни (Tguong, & Jeong, 2021), з яких на частку флаванонів припадає більше половини. За хімічною структурою поліфенольні сполуки, зазвичай, поділяють на фенольні кислоти (галова кислота), флавоноїди (проантоціанідин і кверцетин) та стильбени (наприклад, ресвератрол) (Olszewska, Gędas & Simoes, 2020). Доведено, що поліфеноли мають здатність пригнічувати зростання мікробів під час зберігання продукції рибної промисловості (Zhiliang Huang, Qi Wang, Jun Cao, Dayong Zhou & Chuan Li, 2023). Показано, що введення поліфенолів рослинної сировини до складу харчових продуктів дає змогу одержати вироби з подовженим терміном зберігання (Wang, & Sun, 2016; Wei та ін., 2021).

Низка публікацій присвячена висвітленню питання використання кверцетину для збереження якості харчових продуктів протягом зберігання. Так, досліджено вплив обробки кверцетином на ферментативну та окиснювальну активність, якість кольору та вміст фенольних сполук у свіжозрізаний картоплі. Показано, що кверцетин відіграє важливу роль у запобіганні ферментативному потемнінню, подовженні терміну зберігання та збереженні якості свіжозрізаної картоплі (Kasnak, 2022).

Досліджено можливість використання кверцетину для розробки пакувальних плівок для харчових продуктів. Показано, що додавання кверцетину до пакувальної системи впливає на механічні, бар'єрні, термічні, оптичні, антиоксидантні, протимікробні властивості пакувальних плівок. Доведено, що плівки, функціоналізовані кверцетином, є корисними для продовження терміну зберігання та збереження якості свіжих продуктів (Swarup, Parya, & Jong-Whan, 2023).

Розроблено активні покриття на основі альгінату з використанням наночастинок гідроксиапатиту як потенційних носіїв для глікозидних сполук кверцетину і встановлено, що вони виявляють антибактеріальну дію проти *Pseudomonas fluorescens* (Malvano, Montone, & Albanese, 2021). Доведено, що використання активного покриття на основі альгінату з глікозидом кверцетину та комплексами гідроксиапатиту/кверцетин-глікозиду під час зберігання свіжозрізаної папаї за температури 6 °C дає змогу уповільнити втрату ваги, твердості, зниження рівня глюкози та фруктози, зберегти колір фруктів, зменшити втрати каротиноїдів, вітаміну С, знизити загальну кількість бактерій (Malvano та ін., 2022; Montone та ін., 2022).

Ряд наукових досліджень присвячено вивченню збереження якості коропа під час зберігання. Науковцями доведено, що занурення філе коропа в екстракти куркуми, кориці та лимона покращує такі показники псування, як тіобарбітурова кислота, легкі азотисті основи та рН. Використання цих екстрактів дає змогу зберегти поживну цінність і збільшили термін зберігання коропа в холодильних камерах за температури 4 °C до 9 діб (Mugahi, Aberoumand, & Ziaei-nejad, 2022).

Показано перспективність використання харчової плівки кукурудзяного зеїну, збагаченої екстрактом листя кропу та інкапсульованої ефірної олії кропу з  $\beta$ -циклодекстрином для подовження терміну зберігання охолодженого філе коропа звичайного (Zolfaghari, Bazargani-Gilani, & Aghajani, 2023).

Розроблено нове їстівне покриття на основі хітозану, збагаченого екстрактом м'яги перцевої, та доведено його ефективність для пригнічення розвитку мікроорганізмів *in vitro*, покращення якості та подовження терміну зберігання коропа звичайного (*Cyprinus carpio*) при зберіганні в холодильнику ( $4\pm 1$  °C) (Morachis-Valdez та ін., 2021).

Значно продовжити термін зберігання філе коропа дають змогу різні методи очищення риби в поєднанні з вакуумною упаковкою (Lunda та ін., 2016).

Однак питання використання кверцетину для збереження якості коропа протягом зберігання не досліджувалось, тому вивчення можливості використання кверцетину та кверцетину клатрату для збереження якості й продовження терміну зберігання коропа є актуальним.

**Мета досліджень:** вивчити вплив флавоноїду (кверцетин і кверцетин клатрат) на мікрофлору коропа дзеркального та вміст аміно-аміачного азоту в ньому в умовах гіпотермічного зберігання.

**Матеріали і методи.** Для дослідження був обраний короп дзеркальний (*Cyprinus carpio*) осіннього вилу, вирощений у природних водоймах Харківської області. Для експерименту відбирали свіжих коропів середньою масою 500 г. Експеримент проводився в два етапи.

В експерименті використовували кверцетин (виробник — публічне акціонерне товариство «Науково-виробничий центр «Борщагівський хіміко-фармацевтичний завод») та кверцетин клатрат — це водорозчинний комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл  $\beta$ -циклодекстрином, що дає змогу підвищити його біодоступність і використовувати в меншій концентрації для досягнення еквівалентного біологічного ефекту внаслідок того, що кверцетин є слаборозчинним у воді, тоді як клатрат кверцетину добре розчиняється у воді.

Дослідження стану коропів дзеркальних починалось через декілька годин після вилу й транспортування. Попередньо коропів очищували від луски та потрошили, укладали на керамічні піддони та обробляли розчинами кверцетину та кверцетину клатрату різної концентрації, після чого зберігали упакованими у поліетиленових пакетах за температури  $+2$  °C протягом 6 діб (на першому етапі дослідження) та за температури  $+5\pm 1$  °C протягом 9 діб (на другому етапі дослідження). Рибу зберігали в побутовому холодильнику Liebherr CBef 4315 використовуючи BioFresh зону з температурою  $+2$  °C. Що три доби зберігання проводили оцінку мікробіологічного стану риби та визначали вміст аміно-аміачного азоту.

Підрахунок кількості мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів (МАФАНМ) проводили згідно з ГОСТ 10444.15–94. Згідно з Національним стандартом України «Риба жива. Загальні технічні вимоги» ДСТУ 2284:2010 МАФАНМ риби охолодженої не повинно перевищувати  $5\times 10^4$  КУО. Для цього готували відповідні розведення м'яса риби:  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ . Розведення вносили по  $1$  см<sup>3</sup> у стерильні чашки Петрі та заливали  $15$  см<sup>3</sup> охолодженого до  $45$  °C МПА. Чашки з посівами розташовували в термостаті за температури  $+32\pm 1$  °C

на 72 год. Результати оцінювали шляхом підрахунку загальної кількості КУО. Дослідження проводили паралельно на п'яти зразках на третій і шостий день зберігання на першому етапі дослідження та на третій, шостий і дев'ятий дні зберігання — на другому етапі дослідження.

Перед дослідженнями зразків риби на показник МАФAnM проводили бактеріоскопічне дослідження свіжості риби методом мазку-відбитку (ДСТУ 4895:2007 Риба та рибні продукти. Метод бактеріоскопічного оцінювання). Для цього на предметних скельцях робили два мазки-відбитки: один — з поверхневих шарів м'язів, розташованих під шкірою, інший — із м'язової тканини глибоких шарів м'язів, що знаходяться біля хребта. Виготовлені препарати фарбували за Грамом. Під мікроскопом підраховували середню кількість мікроорганізмів в одному полі зору. Риба вважається свіжою, коли в мазках з поверхневих шарів м'язів мікробів немає або трапляються поодинокі коки і палички в декількох полях зору. Препарат погано фарбується внаслідок відсутності на склі залишків тканини, що розклалися. Риба сумнівної свіжості — у мазках із глибоких шарів м'язів 10—20, а з поверхневих — 30—50 мікробів в одному полі зору (диплококи, диплобактерії). Препарат фарбується задовільно, на склі чітко помітні волокна м'язової тканини, що розклалися. Риба несвіжа — у мазках із глибоких шарів м'язів 30—40, а з поверхневих — 80—100 і більше мікробів в одному полі зору (переважно паличкоподібних). Препарат добре фарбується, на склі багато м'язової тканини, що розклалися (ДСТУ 4895:2007 Риба та рибні продукти. Метод бактеріоскопічного оцінювання).

Для визначення вмісту аміно-аміачного азоту до 5 г подрібненого м'яса коропа додавали 50 мл дистильованої води і настоювали 30 хв при періодичному перемішуванні, фільтрували через паперовий фільтр. У конічну колбу місткістю 250—300 мл вносили 10,00 мл одержаної водної витяжки з м'яса коропа, додавали 40 мл дистильованої води і три краплі 1-відсоткового спиртового розчину фенолфталеїну. Вміст колби нейтралізували 0,1 н. розчином натрій гідроксиду до появи блідо-рожевого забарвлення. Після цього в колбу додавали 10 мл формаліну, нейтралізованого за фенолфталеїном. Вміст колби знову титрували 0,1 н. розчином натрій гідроксиду до появи блідо-рожевого забарвлення. Для визначення кількості аміно-аміачного азоту об'єм 0,1 н. розчину натрій гідроксиду, який пішов на друге титрування, множили на 1,4. Отримували вміст аміно-аміачного азоту (в мг) в 10 мл фільтрату м'ясної витяжки. За кінцевий результат приймали середнє арифметичне 3-х паралельних визначень (Берник, Фаріонік, & Новгородська, 2020).

У свіжій прісноводній рибі вміст аміно-аміачного азоту не перебільшує 0,69 мг/10 мл фільтрату. Для риби сумнівної свіжості цей показник знаходиться в межах 0,7—0,8 мг/10 мл фільтрату. У випадку, коли показник становить понад 0,81 мг/10 мл фільтрату, риба є несвіжою (Берник, Фаріонік, & Новгородська, 2020).

Визначення вмісту аміно-аміачного азоту зразків коропа дзеркального проводили в низці паралельних визначень (n=5) з аналізом промахів за допомогою Q-тесту. Після цього розраховували середнє значення вмісту аміно-аміачного азоту певного зразка, випадкові відхилення, дисперсію та стандартне відхилення, величину якого використовували для перевірки результатів на присутність промахів за

більш точними критеріями. Для оцінки відтворюваності обчислювали вибірку дисперсію середнього значення та стандартне відхилення середнього результату ( $S_r$ ). Величину довірчого інтервалу визначали за коефіцієнтом розподілу Стьюдента ( $t$ -розподілом) для надійності  $P=0,95$ . Отримані таким чином значення вмісту аміно-аміачного азоту зразків представлено в табл. 3, 6 у вигляді  $AAA \pm \Delta AAA$ , де  $AAA$  — середнє значення вмісту аміно-аміачного азоту зразка та  $\Delta AAA$  — довірчий інтервал вмісту аміно-аміачного азоту. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою програми Microsoft Excel.

**Викладення основних результатів дослідження.** Згідно з ДСТУ 814-96 «Риба охолоджена. Технічні умови» охолоджену рибу зберігають за температури  $0...-2\text{ }^\circ\text{C}$  у I і IV кв. — 12 діб; у II і III кв. — 10 діб. Можливий термін зберігання ставкової риби, упакованої без льоду, за температури  $+4...+6\text{ }^\circ\text{C}$  — не більше 2 діб.

Згідно з літературними даними флавоноїди використовуються як консерванти для подовження термінів зберігання продуктів рибної промисловості шляхом занурювання в розчини хлорогенової кислоти концентрацією 0,05%, 0,1% та 0,3% протягом 5 хв та подальшого зберігання за температури  $4\text{ }^\circ\text{C}$  (Сао та ін., 2019). Аналогічно, філе білого амура замочували в 0,2% розчині чайного поліфенолу протягом 30 хв з подальшим зберіганням за температури  $4\text{ }^\circ\text{C}$ . Порівняно з контролем дослідна група ефективно інгібувала зростання флори, скоротивши виробництво ТВБ-Н та розширивши термін придатності на 6 днів (Рап та ін. 2021).

Дослідження проводилися в два етапи. На I етапі було сформовано 7 зразків (табл. 1).

*Таблиця 1. Концентрації розчинів кверцетину на першому етапі дослідження*

№ групи	Назва розчину	Концентрація (г/л)
Група 1. Контроль	—	—
Група 2	Кверцетин	2,0
Група 3	Кверцетин	0,4
Група 4	Кверцетин клатрат	2,0
Група 5	Кверцетин клатрат	1,0
Група 6	Кверцетин клатрат	0,4
Група 7	Кверцетин клатрат	0,2

Результати визначення МАФАНМ у зразках риби наведено в табл. 2.

*Таблиця 2. МАФАНМ риби охолодженої, КУО/см<sup>3</sup> при різних термінах зберігання та різних концентраціях розчинів кверцетину на першому етапі дослідження при температурі зберігання  $+2\text{ }^\circ\text{C}$*

№ групи	Кількість КУО/см <sup>3</sup> при терміні зберігання:		
	Перед початком експерименту	3 доби	6 діб
Група 1. Контроль	$0,05 \times 10^4$	$0,12 \times 10^4$	$13,8 \times 10^4$
Група 2 Кверцетин 2,0 г/л	—	$0,6 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$

Продовження таблиці 2

Група 3 Кверцетин 0,4 г/л	—	$0,4 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$
Група 4 Кверцетин клатрат 2,0 г/л	—	$0,3 \times 10^4$	$1,6 \times 10^4$
Група 5 Кверцетин клатрат 1,0 г/л	—	$0,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
Група 6 Кверцетин клатрат 0,4 г/л	—	$0,7 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$
Група 7 Кверцетин клатрат 0,2 г/л	—	$0,6 \times 10^4$	$2,6 \times 10^4$

Як видно з табл. 2, показник МАФАНМ через 6 діб гіпотермічного зберігання (за температури +2 °С) у контрольному зразку м'яса коропа становив  $13,8 \times 10^4$  КУО/см<sup>3</sup>, що не відповідає нормативам МАФАНМ для риби охолодженої. Також про це свідчить результат мазка-відбитка, у якому було виявлено більше 30 мікробних клітин у полі зору. Для зразків риби, які були витримані перед зберіганням у розчинах кверцетину і кверцетину клатрату в концентраціях 2,0 г/л та 0,4 г/л показник МАФАНМ знаходився на рівні  $1,1$ — $1,8 \times 10^4$ , що свідчить про свіжість риби. Про це також свідчать результати мазків-відбитків, у яких було виявлено менше 10 мікробних клітин у полі зору. Встановлено, що у зразках коропа з попередньою обробкою розчинами кверцетину клатрату з концентрацією 0,2 та 1,0 г/л показник МАФАНМ становив  $2,5$ — $2,6 \times 10^4$  КУО/см<sup>3</sup>, що відповідає нормативам МАФАНМ для риби охолодженої, але значно перевищує попередні показники. Про це також свідчать результати мазків-відбитків, у яких було виявлено менше 15 мікробних клітин у полі зору. Зважаючи на вищезазначене, для другого етапу експерименту було вирішено обрати розчини кверцетину і кверцетину клатрату в концентраціях 2,0 г/л та 0,4 г/л, які найбільш ефективні щодо пригнічення розвитку мікрофлори та зберігати рибу за температури +5 (±1) °С (максимальна температура, рекомендована ДСТУ).

Результати визначення вмісту аміно-аміачного азоту в м'ясі коропа під час зберігання за температури +2 °С наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Вміст аміно-аміачного азоту у м'ясі коропа охолодженого (мг/10 мл фільтрату) при різних термінах зберігання та різних концентраціях розчинів кверцетину на першому етапі дослідження при температурі зберігання +2 °С (n=5, P=0,95)

№ групи	Вміст аміно-аміачного азоту у м'ясі коропа (мг/10 мл фільтрату) при терміні зберігання:		
	Перед початком експерименту	3 доби	6 діб
Група 1 Контроль	0,17±0,01	0,30±0,01	0,35±0,01
Група 2 Кверцетин 2,0 г/л	—	0,20±0,01	0,28±0,01
Група 3 Кверцетин 0,4 г/л	—	0,17±0,01	0,26±0,01
Група 4 Кверцетин клатрат 2,0 г/л	—	0,26±0,01	0,32±0,01

*Продовження таблиці 3*

Група 5 Кверцетин клатрат 1,0 г/л	—	0,26±0,01	0,32±0,01
Група 6 Кверцетин клатрат 0,4 г/л	—	0,17±0,01	0,26±0,01
Група 7 Кверцетин клатрат 0,2 г/л	—	0,30±0,01	0,35±0,01

Згідно з одержаними даними (табл. 3) вміст аміно-аміачного азоту (ААА) в усіх досліджуваних зразках риби наприкінці терміну зберігання становив менше 0,69 мг/10 мл фільтрату, тобто всі зразки коропа були свіжими. Однак значення вмісту аміно-аміачного азоту для зразків риби попередньо витриманих у розчинах кверцетину та кверцетину клатрату з концентраціями 0,4 г/л, 1,0 г/л та 2,0 г/л менше порівняно з контролем. Значення ААА в зразках, попередньо витриманих у розчині кверцетину клатрату з концентраціями 1,0 г/л і 2,0 г/л, не відрізнялись, тому групи 5 і 7 були виключені з подальших досліджень.

На II етапі було сформовано 5 груп (табл. 4).

*Таблиця 4. Концентрації розчинів кверцетину на другому етапі дослідження*

№ групи	Назва розчину	Концентрація (г/л)
Група 1	Кверцетин	2,0
Група 2	Кверцетин клатрат	2,0
Група 3	Кверцетин	0,4
Група 4	Кверцетин клатрат	0,4
Група 5. Контроль	—	—

Результати визначення МАФАНМ у зразках риби наведено в табл. 5.

*Таблиця 5. МАФАНМ риби охолодженої, КУО/см<sup>3</sup> при різних термінах зберігання та різних концентраціях розчинів кверцетину на другому етапі дослідження при температурі зберігання +5 (±1) °С*

№ групи	Кількість КУО/см <sup>3</sup> при терміні зберігання:			
	Перед початком експерименту	3 доби	6 діб	9 діб
Група 1 Кверцетин 2,0 г/л	—	0,9×10 <sup>4</sup>	2,9×10 <sup>4</sup>	4,7×10 <sup>4</sup>
Група 2 Кверцетин клатрат 2,0 г/л	—	0,63×10 <sup>4</sup>	2,1×10 <sup>4</sup>	4,1×10 <sup>4</sup>
Група 3 Кверцетин 0,4 г/л	—	0,82×10 <sup>4</sup>	3,2×10 <sup>4</sup>	4,5×10 <sup>4</sup>
Група 4 Кверцетин клатрат 0,4 г/л	—	1,02×10 <sup>4</sup>	2,9×10 <sup>4</sup>	4,08×10 <sup>4</sup>
Група 5. Контроль	0,12×10 <sup>4</sup>	5,78×10 <sup>4</sup>	23,07×10 <sup>4</sup>	Суцільне зростання

Як видно з табл. 5, показник МАФАНМ через 6 діб гіпотермічного зберігання (за температури +5±1 °С) в контрольному зразку м'яса коропа становив 23,07×10<sup>4</sup> КУО/см<sup>3</sup>, що не відповідає нормативам МАФАНМ для риби охолодженої. Для

зразків риби, які були витримані перед зберіганням у розчинах кверцетину і кверцетину клатрату в концентраціях 2,0 г/л та 0,4 г/л показник МАФАНМ на 9 добу зберігання знаходився на рівні  $4,08—4,7 \times 10^4$ , що відповідає нормативному документу та свідчить про свіжість риби.

Результати визначення вмісту аміно-аміачного азоту в м'ясі коропа під час зберігання за температури  $+5 \pm 1$  °C наведено в табл. 6.

**Таблиця 6. Вміст аміно-аміачного азоту у м'ясі коропа охолодженого (мг/10 мл фільтрату) при різних термінах зберігання та різних концентраціях розчинів кверцетину на другому етапі дослідження при температурі зберігання  $+5 (\pm 1)$ °C (n=5, P=0,95)**

№ групи	Вміст аміно-аміачного азоту у м'ясі коропа (мг/10 мл фільтрату) при терміні зберігання:			
	Перед початком експерименту	3 діб	6 діб	9 діб
Група 1 Кверцетин 2,0 г/л	—	0,23±0,01	0,34±0,01	0,45±0,02
Група 2 Кверцетин клатрат 2,0 г/л	—	0,30±0,01	0,41±0,02	0,52±0,02
Група 3 Кверцетин 0,4 г/л	—	0,20±0,01	0,29±0,01	0,39±0,01
Група 4 Кверцетин клатрат 0,4 г/л	—	0,21±0,01	0,29±0,01	0,40±0,02
Група 5 Контроль	0,19±0,01	0,34±0,01	0,40±0,02	0,62±0,03

Згідно з одержаними даними через 9 діб гіпотермічного зберігання вміст аміно-аміачного азоту в контрольному зразку м'яса коропа становив менше 0,69 мг/10 мл фільтрату, що характерно для свіжої риби. Для зразків риби, які були витримані перед зберіганням у розчинах кверцетину і кверцетину клатрату з концентрацією 2,0 г/л, показник знаходився на рівні 0,45—0,52 мг/10 мл, що на 16,1—27,4% менше порівняно з контролем. Встановлено, що попередня обробка коропа розчинами кверцетину та кверцетину клатрату з концентрацією 0,4 г/л призводить до зменшення вмісту аміно-аміачного азоту на 35—37% порівняно з контролем при зберіганні коропа за температури  $+5 \pm 1$  °C.

## **Висновки**

Згідно з одержаними даними, наприкінці гіпотермічного зберігання риби, за температури  $+5 \pm 1$  °C, з попередньою обробкою у розчинах кверцетину і кверцетину клатрату з концентраціями 2,0 г/л та 0,4 г/л, показник МАФАНМ знаходився на рівні  $0,08—1,2 \times 10^4$ , а вміст аміно-аміачного азоту становив 0,39—0,52 мг/10 мл фільтрату м'ясної витяжки з коропа, що свідчить про свіжість риби.

Отже, використання розчинів кверцетину або кверцетину клатрату з концентрацією 0,4 г/л для попередньої обробки коропа дзеркального дає змогу збільшити термін зберігання риби за температури  $+5 \pm 1$  °C до 9 діб при нормі не більше 2 діб та може розглядатись як потенційний спосіб збереження свіжості риби.

У подальшому планується вивчення впливу поліфенолів на органолептичні показники риби з метою запобігання змінам текстури, смакових та ароматичних компонентів рибної продукції при зберіганні.

## Література

- Берник, І. М., Фаріонік, Т. В., Новгородська, Н. В. (2020). *Ветеринарно-санітарна експертиза продуктів тваринного і рослинного походження*. Вінниця: Видавничий центр ВНАУ.
- Austin, B. (2006). The bacterial microflora of fish. *The Scientific World Journal*, 6, 931—945.
- Alina, Kluga, Mirosława, Kacaniová. (2017). Identification of microflora of freshwater fish caught in the Driksna river and pond in Latvia. *Foodbult*, 64—168. DOI:10.22616/foodbalt.2017.016.
- Blackburn, C. W. (2006). *Food Spoilage Microorganisms*. Woodhead Publishing.
- Cao, J., Wang, Q., Ma, T. T., Bao, K. L., Yu, X. Y., Duan, Z. H. et al. (2020). Effect of EGCGgelatin biofilm on the quality and microbial composition of tilapia fillets during chilled storage. *Food Chem* 305:125—454.
- Davies, A. R., Spell, C., Jehanno, D., Nychas, G. J. E., Kirby, R. M. (2001) Incidence of foodborne pathogens on European fish. *Food Control*, Vol. 12, p. 67—71.
- Feng, X., Ng, V. K., Mijs-Krajnik, M. and Yang, H. S. (2017). Effects of fish gelatin and tea polyphenol coating on the spoilage and degradation of myofibril in fish fillet during cold storage. *Food Bioproc. Technol.* 10:89—102.
- Fanghui, Shao, Xiaoye, Ma, Peiyu, Wei, Jun, Cao, Yanfu, He, Aiguo, Feng, Xiuping, Dong, Dayong, Zhou and Chuan, Li. (2022). The effects of polyphenols on fresh quality and the mechanism of partial freezing of tilapia fillets. *J. Sci. Food Agric.* 2022; 102: p. 6014—6023. doi.org/10.1002/jsfa.11954.
- Gram, L., Dalgaard, P. (2002). Fish spoilage bacteria - problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 13(3), 262—266.
- Higdon, J., and Drake, V. J. (2013). *An evidence-based approach to phytochemicals and other dietary factors*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Kasnak, C. (2022). Evaluation of the anti-browning effect of quercetin on cut potatoes during storage. *Food Packaging and Shelf Life*. 31(2). 100816. 10.1016/j.fpsl.2022.100816.
- Lunda, R., Linhartova, Z., Másilko, J., Dvořák, P., Smole Možina, S., Mraz, J. (2016). Effect of different types of descaling methods on shelf life of air-/vacuum-packaged common carp (*Cyprinus carpio* L.) fillets under refrigerated storage conditions. *Aquaculture International*. 24. 10.1007/s10499-016-0040-y.
- Malvano, F., Montone, A., Capparelli, R., Capuano, F., Albanese, D. (2021). Development of a novel Active Edible Coating containing Hydroxyapatite for food shelf-life extension. *Chemical Engineering Transactions*, 87, 25—30.
- Malvano, F., Corona, O., Pham, Phuong Ly, Cinquanta, L., Pollon, M., Bambina, P., Farina, V., Albanese, D. (2022). Effect of alginate-based coating charged with hydroxyapatite and quercetin on colour, firmness, sugars and volatile compounds of fresh cut papaya during cold storage. *European Food Research and Technology*. 248. 10.1007/s00217-022-04093-w.
- Montone, A., Malvano, F., Pham, Phuong, Ly, Cinquanta, L., Capparelli, R., Capuano, F., Albanese, D. (2022). Alginate-based coatings charged with hydroxyapatite and quercetin for fresh-cut papaya shelf life. *International Journal of Food Science & Technology*, 57, 10.1111/ijfs.15860.
- Morachis-Valdez, A., Santillán-Álvarez, Á., Gómez-Oliván, L., García-Argueta, I., Islas-Flores, H., Dublan, O. (2021). Effects of Peppermint Extract and Chitosan-Based Edible Coating on Storage Quality of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Fillets. *Polymers*, 13, 3243. 10.3390/polym13193243.
- Mugahi, S., Aberoumand, A., Ziaei-nejad, S. (2022). Effects of Turmeric, Cinnamon, and Lemon Extracts on Shelf Life, Nutrients, and Preservation of Carp Fish in Cold Storage. *Journal of Food Quality*, 1—14. 10.1155/2022/3502464.
- Luan, L. L., Fu, S. L., Yuan, C. H., Ishimura G., Chen, S. G., Chen, J. C. et al. (2017) Combined effect of superchilling and tea polyphenols on the preservation quality of hairtail (*Trichiurus haumela*). *Int J. Food Prop.* 20:S992—S1001.

Olszewska, M. A., Gędas, A. and Simoes, M. (2020). Antimicrobial polyphenol-rich extracts: Applications and limitations in the food industry. *Food Research International (Ottawa, ON)* 134:109214. doi: 10.1016/j.foodres. 2020.109214.

Opoku-Temeng, C., and Sintim, H. O. (2016). Inhibition of cyclic diadenylate cyclase, DisA, by polyphenols. *Scientific Reports* 6:25445. doi: 10.1038/srep25445.

Pan, Z. Q., L. Li, Z. H., Shen, Y. Chen, and M. Li. (2021). Effects of tea polyphenol treatments on the quality and microbiota of crisp grass carp fillets during storage at 4 degrees C. *Applied Sciences* 11 (10):4370. doi: 10.3390/app11104370.

Roy, Swarup & Ezati, Parya & Khan, Ajahar & Rhim, Jong-Whan. (2023). New opportunities and advances in quercetin-added functional packaging films for sustainable packaging applications: a mini-review. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*. 10.1080/10408398.2023.2200553.

Silva, A. S., Reboredo-Rodriguez, P., Sutar, I., Sureda, A., Belwal, T., Loizzo, M. R. et al. (2020). Evaluation of the status quo of polyphenols analysis: part I—phytochemistry, bioactivity, interactions, and industrial uses. *Compr Rev Food Sci. Food Saf.* 19:3191–3218.

Soladoye, O. P., Juárez, M. L., Aalhus, J. L., Shand, P., Estévez, M. (2015). Protein Oxidation in Processed Meat: Mechanisms and Potential Implications on Human Health: *Compr Rev Food Sci. Food Saf.* 2015 Mar; 14(2):106—122. doi: 10.1111/1541-4337.12127.

Terentjeva, M., Eizenberga, I., Novoslavskij, A., Strazdiņa, V., Valciņa, O., Ošmjana, J., Bērziņš, A. (2015) Bacterial microflora of freshwater fish originated from Usmas Lake in Latvia. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, Vol. 4, p. 74—77.

Truong, V. L., and Jeong, W. S. (2021). Cellular defensive mechanisms of tea polyphenols: Structure-activity relationship. *International Journal of Molecular Sciences* 22(17):9109. doi: 10.3390/ijms22179109.

Wang, T. T., Li, Z. X., Yuan, F. Z., Lin, H. and Pavase, T. R. (2017). Effects of brown seaweed polyphenols, alpha-tocopherol, and ascorbic acid on protein oxidation and textural properties of fish mince (*Pagrosomus major*) during frozen storage. *J. Sci. Food Agric.* 97:1102—1107.

Wang, W. D. and Sun, Y. E. (2016). Preservation effect of meat product by natural antioxidant tea polyphenol. *Cell Mol Biol.* 62:44—48.

Wei, P. Y., Zhu, K. X., Cao, J., Dong, Y., Li, M. Z., Shen, X. R. et al. (2021). The inhibition mechanism of the texture deterioration of tilapia fillets during partial freezing after treatment with polyphenols. *Food Chem.* 335:127—627.

Zolfaghari, A., Bazargani-Gilani, B., Aghajani, N. (2023). Edible film based on corn zein containing dill extract and essential oil/ $\beta$ -cyclodextrin inclusion complex: Shelf life enhancement of common carp fillet. *Food Science & Nutrition*. 11. 10.1002/fsn3.3353.

Zhiliang, Huang, Qi, Wang, Jun, Cao, Dayong Zhou, & Chuan Li. (2023). Mechanisms of polyphenols on quality control of aquatic products in storage: A review. Published online: 19 Jan 2023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2167803>.

## IMPROVEMENT OF THE MANUFACTURING METHOD OF FUNCTIONAL SEMI-FINISHED PRODUCT AND CUPCAKES BASED ON IT

O. Zagorulko, A. Zahorulko, V. Mykhaylov, K. Kasabova  
State Biotechnological University

### Key words:

*Cupcake*  
*Plant-based supplement*  
*Dried beet pomace*  
*Effective viscosity*  
*Physiologically functional ingredients*

### Article history:

Received 13.10.2023  
Received in revised form  
27.10.2023  
Accepted 08.11.2023

### Corresponding author:

O. Zagorulko

### E-mail:

zagorulko.andrey.nikolae  
vich@gmail.com

**Citation:** O. С. Загорулько, А. М. Загорулько, В. М. Михайлов, К. Р. Касабова (2023). Удосконалення способу виготовлення функціонального напівфабрикату і кексів на його основі. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 111—121.  
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-11

### ABSTRACT

The object of the research is de-sugared beet pomace, which contains a large amount of dietary fiber in its composition, and the technology of cupcakes with its addition. The task of enriching cupcakes with useful substances (dietary fibers, low molecular weight phenolic compounds, minerals) was done. A production method of dried powdered beet pomace was substantiated, which is characterized by low-temperature concentration modes in the rotary evaporator and post-drying in the roller IR dryer, which could contribute to the preservation of physiologically functional ingredients. The rheological characteristics of concentrated beet pomace in the rotary evaporator in the temperature range of 65—75 °C were determined. The established indicators revealed a tendency to reduce the effective viscosity in the range of 42 to 27 Pa·s depending on the temperature. For the speed of the rotary evaporator agitator of 200—300 min<sup>-1</sup>, the maximum level of effective viscosity of beet pomace of 3—5 Pa·s was established.

Studies of the rheological characteristics of the dough with the introduction of dried beet pomace made it possible to establish an increase in its elastic-viscous properties with an increase in the amount of additive. The highest indicator of effective viscosity  $\eta_{ef}$  (Pa·s) of the studied dough samples for cupcakes with the addition of an additive in the amount 10% was 347 Pa·s; 15% — 384 Pa·s; 20% — 442 Pa·s; and control — 287 Pa·s, respectively. The compression of the crumb of finished cupcakes was also determined, which increased by 10.2—22.4% with an increase in the amount of beet pomace powder. The sensory and physical-chemical indicators of the quality of cupcakes revealed the optimal amount of application of dried beet pomace — 15%. The selected sample contains physiologically functional ingredients, namely dietary fiber, low molecular weight phenolic compounds, minerals. The technology can be introduced into the confectionery industry

## УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО НАПІВФАБРИКАТУ І КЕКСІВ НА ЙОГО ОСНОВІ

О. Є. Загорулько, А. М. Загорулько, В. М. Михайлов, К. Р. Касабова  
Державний біотехнологічний університет

Об'єктом є знецукрюванні бурякові вичавки, які вміщують у своєму складі велику кількість харчових волокон, а також технологія кексів з їх додаванням. Вирішується проблема збагачення кексів корисними речовинами (харчові волокна, низькомолекулярні фенольні сполуки, мінеральні речовини). Обґрунтовано спосіб виробництва сушених порошкоподібних бурякових вичавків, який відрізняється низькотемпературними режимами концентрування в роторному випарнику та досушування у вальцьовій ПЧ-сушарці відповідно, що сприятиме збереженню фізіологічно функціональних інгредієнтів. Визначено реологічні характеристики концентрованих бурякових вичавків у роторному випарнику в діапазоні температури 65—75 °С. Встановлені показники дали змогу виявити тенденцію до зменшення ефективної в'язкості залежно від температури в діапазоні від 42 до 27 Па·с. Для обертів мішалки 200—300 хв<sup>-1</sup> роторного випарника встановлено максимальний рівень ефективної в'язкості бурякових вичавків 3—5 Па·с.

Проведені дослідження реологічних характеристик тіста з внесенням сушених бурякових вичавків дали змогу встановити наростання його пружно-в'язких властивостей зі збільшенням кількості добавки. Найбільший показник ефективної в'язкості  $\eta_{\text{ef}}$  (Па·с) досліджених зразків тіста для кексів з додаванням добавки 10% — 347; 15% — 384; 20% — 442 і контролю — 287 відповідно. Також визначено стискуваність м'якушки готових кексів, яка збільшується на 10,2—22,4% після підвищення кількості порошку бурякових вичавків. Органолептичні та фізико-хімічні показники якості кексів виявили оптимальну кількість внесення сушених бурякових вичавків — 15%. Обраний зразок містить фізіологічно функціональні інгредієнти, зокрема харчові волокна, низькомолекулярні фенольні сполуки, мінеральні речовини. Технологія може бути впроваджена в кондитерську промисловість

**Ключові слова:** кекс, рослинна добавка, сушені бурякові вичавки, ефективна в'язкість, фізіологічно функціональні інгредієнти.

**Постановка проблеми.** Здорове харчування є невід'ємною складовою раціонального харчування в умовах погіршення екологічного становища багатьох європейських країн, пандемій тощо, що спричиняє загострення хронічних захворювань і різноманітні ускладнення імунного характеру (Bucher, Horst, & Siegrist, 2013). Впровадження у виробництво вдосконалених інноваційних технологій виробництва екологічно-чистих продуктів харчування, збагачених функціонально фізіологічними інгредієнтами (ФФІ), можливе завдяки якісній реалізації раціональної переробки органічної рослинної сировини. Конкурентоспроможне виробництво продуктів харчування зі значним вмістом ФФІ розширить асортимент

оздоровчої та лікувально-профілактичної продукції широкого спектра використання з набутими оригінальними органолептичними властивостями, формуючи при повсякденному раціоні стабілізацію імунної складової споживачів (Par та ін., 2021). Введення в раціон харчування функціонально фізіологічних інгредієнтів на основі органічної сировини, у тому числі з високим вмістом харчових волокон, дасть змогу знизити ризик виникнення ряду захворювань, зокрема серцево-судинних та інших хвороб (Galanakis, Rizou, Aldawoud, Ucak, & Rowan. 2021).

Ресурсоефективна переробка органічної рослинної сировини базується на мінімізації рівня відходів сировини на технологічних стадіях, зокрема використання вичавків, насіння тощо зі значним вмістом ФФІ. Використання органічних природних ФФІ в багатьох рецептурах продуктів харчування дає змогу значною мірою знизити вміст основної сировини, що забезпечить якісні властивості отримуваних виробів і розширить їх асортимент (Munekata та ін., 2021). Отже, розробка способу виробництва кексу, збагаченого фізіологічно функціональними інгредієнтами на основі сушених бурякових вичавків, отриманих в умовах раціональної низькотемпературної обробки, є актуальною і своєчасною. Розроблена продукція підвищеної харчової та біологічної цінності може бути рекомендована для масового споживання, оздоровчого та лікувально-профілактичного харчування різних верст населення, в тому числі військовослужбовців, людей похилого віку тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Швидкі темпи індустріалізації проклали шлях для екологічно органічних продуктів, більш корисних, і це припущення, серед іншого, ґрунтується на його принципах і стандартах виробництва (Пашнюк, 2023). До основних проблем систем виробництва продуктів харчування з високим вмістом ФФІ можна віднести: недостатню власну базу природної сировини, низькорациональну переробку, що стосується як технологічної, так і апаратурної складової. Виробництво «оздоровчих продуктів» харчування природного походження потребує формування добової норми споживання з урахуванням не лише початкового вмісту ФФІ органічної сировини, а й кінцевого — у готових виробах після технологічно-апаратурної обробки. Це підкреслює актуальність науково-практичних досліджень у пошуку ресурсоефективних технологій з раціональним поєднанням апаратурного комплексу для максимального збереження властивостей природної сировини. У праці (Mykhailov, Zahorulko, Zagorulko, Liashenko, & Dudnyk, 2021) розглядаються раціони харчування людини з урахуванням узагальнених параметрів оцінювання ефективності здорового харчування та без впливу на них властивостей органічної сировини. Щоденне збільшення потреб на природні продукти харчування потребує формування комплексних рекомендацій з огляду на лікувально-профілактичні властивості та попит споживачів на оригінальні вироби, що підкреслює актуальність досліджень у цьому напрямі. Зокрема, для забезпечення раціонального харчування використовують змішування різноманітної рослинної сировини з формуванням прогнозованого вмісту ФФІ, консистенції та набутих оригінальних органолептичних властивостей, забезпечуючи широкий спектр використання у різноманітних виробах (Regeira Silveira, 2015; Черевко, Михайлов, Кіптєла, Захаренко, & Загорулько, 2015; Михайлов, Загорулько, Загорулько, Касабова, & Гордієнко 2019).

Ресурсоефективне виробництво оздоровчих продуктів харчування потребує

комплексного дослідження із забезпечення раціональності технологічної складової у поєднанні з апаратурно-технічними рішеннями для ефективної переробки рослинної сировини з подальшим виготовлення конкурентоспроможних виробів. До напівфабрикатів високого ступеня готовності з широким спектром використання можна віднести купажовані концентровані та сушені фракційні вироби. Слід відзначити, що наявні апаратурно-технологічні рішення з переробки органічної сировини характеризуються низьким рівнем ресурсоефективності. Це пов'язано з використанням проміжних високотемпературних теплоносіїв, високодинамічних джерел нагрівання, що в цілому призводить до штучного збільшення металоємності та мінімізації використання енергоощадних комплексів.

У праці (Zahorulko та ін., 2020) підкреслюється актуальність ресурсоефективної переробки органічної рослинної сировини зі значним вмістом корисних речовин. У дослідженні (Касабова та ін., 2021) представлено спосіб виробництва купажованої плодово-ягідної пасти, отримуваної шляхом концентрування в роторному апараті до вмісту сухих речовин 28...30% протягом 25...50 с з попереднім підігріванням пюре до 50 °С. Визначено раціональну кількість додавання купажованої пасти при заміні яблучного пюре, дотримуючись необхідного ступеня структуроутворення (при внесенні 75% купажу в'язкість становить 616 Па·с, а в контролі — 354 Па·с). У висновках акцентується, що саме раціональний вміст рослинної добавки забезпечить виробництво «здорових продуктів» харчування з підвищеним вмістом ФФІ, що підтверджує актуальність досліджень.

Відомо, що рослинні добавки, які містять фізіологічно-функціональні інгредієнти, по-різному впливають на тісто і, як наслідок, на структуру готових виробів (Самохвалова, Касабова, & Олійник, 2014; Самохвалова, Чернікова, Олійник, & Касабова, 2015). Наприклад, бурякові вичавки зі значним вмістом беталаїнів використовуються для приготування функціональних продуктів харчування (кондитерських, хлібобулочних, напоїв тощо) (Nirmal, Mereddy, & Maqsood, 2021), що підтверджує актуальність досліджень з раціональної переробки буряку та подальшого його використання в кондитерських виробках. Отже, підвищення функціональності кондитерських виробів шляхом внесення до рецептурного складу рослинних напівфабрикатів, отриманих на ресурсоефективному обладнанні за щадних режимів, дає змогу забезпечити мінімізацію штучних барвників та ароматизаторів, надання прогнозованих структурно-механічних властивостей з урахуванням змін при внесенні рослинних купажів та отримання оригінальних конкурентоспроможних властивостей виробами з підвищеним вмістом ФФІ. Все це зумовлює потребу в практично-експериментальних дослідженнях із забезпечення ресурсоефективної переробки бурякових вичавків для виробництва «здорових» кондитерських виробів на прикладі кексів, забезпечуючи розширення асортименту.

**Метою дослідження** є удосконалення технології виробництва кексів з додаванням сушених бурякових вичавків, що забезпечить розширення асортименту борошняних кондитерських виробів, які є джерелом фізіологічно функціональних інгредієнтів.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження є знецукровані бурякові вичавки, які вміщують у своєму складі велику кількість харчових волокон, а також технологія кексів з їх додаванням. Основна гіпотеза досліджень полягає у забезпеченні

ресурсоефективної переробки рослинної сировини з подальшим удосконаленням технології виробництва харчових виробів, забезпечуючи розширення асортименту «оздоровчої» продукції з підвищеним вмістом фізіологічно функціональних інгредієнтів.

Сировиною є знецукровані бурякові вичавки, які вміщують у своєму складі велику кількість харчових волокон. Визначено структурно-механічні властивості концентрованих бурякових вичавків та отриманого тесту для кексів з додаванням сушених бурякових вичавків. Структурно-механічні властивості дослідних зразків визначали на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» (Німеччина).

За контрольний зразок були обрані кекси без начинки на хімічних розпушувачах відповідно до 4505:2005 «Кекси». В експериментальних дослідженнях запропоновано замінювати борошно пшеничне розробленим порошком сушених бурякових вичавків у кількості 10%, 15%, 20%. Бурякові вичавки перемішували з борошном та додавали в тісто під час його замішування.

Структурно-механічні властивості кексів визначали за допомогою автоматичного пенетрометра «Labor» (Угорщина). Вивчення фізико-хімічних показників якості випечених виробів (вологість, питомий об'єм, лужність) здійснювали за загально прийнятими методиками.

Дослідження отриманих органолептичних властивостей кексів з буряковими вичавками здійснювали експертною комісією у складі п'яти членів Державного біотехнологічного університету (Харків, Україна) за 5-бальною шкалою.

Вміст геміцелюлоз визначали за модифікованим методом Дрейвуда, целюлози — азотно-спиртовим методом (метод Кюршнера), пектинових речовин — кальцій-пектатним методом. Вміст низькомолекулярних фенольних сполук визначали колориметричним методом за ДСТУ 4373:2005. Мінеральний склад бурякових вичавків було визначено методом атомно-емісійної спектроскопії із фотометричною реєстрацією на приладі ДФС-8.

**Викладення основних результатів дослідження.** Виготовлення сушеної бурякової порошокподібної фракції здійснювалось із знецукрованих бурякових вичавків, які фактично є відходами первинної переробки цукрового буряку. Бурякові вичавки попередньо пресують і відправляють на термічну обробку насиченою парою до універсальних тепломасообмінних апаратів. Тривалість термічної обробки становить 15—20 хв за температури пари, що не перевищує 100 °С, забезпечуючи видалення специфічного бурякового смаку та запаху. Після чого здійснюється водна екстракція розчинних речовин за температури 78—84 °С. Такий спосіб екстрагування дає змогу максимально видалити зі знецукрених бурякових вичавків наявні токсини, солі важких металів, включення пестицидів, дифузійного соку, сахарози тощо. Для поліпшення якості отриманого продукту (порошокподібної фракції) проводять освітлення бурякових вичавків 3—5% розчином перекису водню протягом 15—20 хв для пробілювання. Завдяки цьому бурякові вичавки не тільки знебарвлюються, а й змінюють функціонально-технологічних показники, зокрема водопоглинальну та сорбуючу здатності.

Отримані бурякові волокна пресують до вмісту сухих речовин 15—16%, подрібноють до розміру часток 0,2—0,25 мм. Після відправляють на концентрування до роторного випарника за температури 65—75 °С до вмісту сухих речовин 45% та далі на кінцеве досушування до вальцьової сушарці. Сушіння проводять в

ПЧ-полі за температури 65—75 °С до вмісту сухих речовин 87,0—90,0%. Комбінований спосіб тепломасообмінної обробки у поєднання з попереднім концентруванням і досушуванням відрізняється низькотемпературними режимами в умовах мінімальної тривалості технологічної операції, підвищуючи таким чином якість отриманого бурякового порошкоподібного фракційного напівфабрикату.

Під час виробництва бурякових порошкоподібних фракції з вичавків необхідно враховувати структурно-механічні властивості концентрованих бурякових вичавків у роторному випарнику при зміні швидкості зсуву та температури термічної обробки. Отриманні таким чином значення реологічних показників дослідних зразків дають змогу виявити оптимальний температурний режим проведення процесу концентрування бурякових вичавків і провести відповідні його розрахунки. Дослідження проведено на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2». Рух зразка бурякових вичавків у віскозиметрі схожий на процес перемішування й транспортування в роторному випарнику — відцентрове переміщення по спіральній траєкторії. Тому встановлені таким чином реологічні показники максимально відображають реальну картину ведення процесу.

Були проведені дослідження зміни ефективної в'язкості концентрованих бурякових вичавків з вмістом сухих речовин 45% під впливом зміни швидкості зсуву в інтервалі температур 65—75 °С (рис. 1).

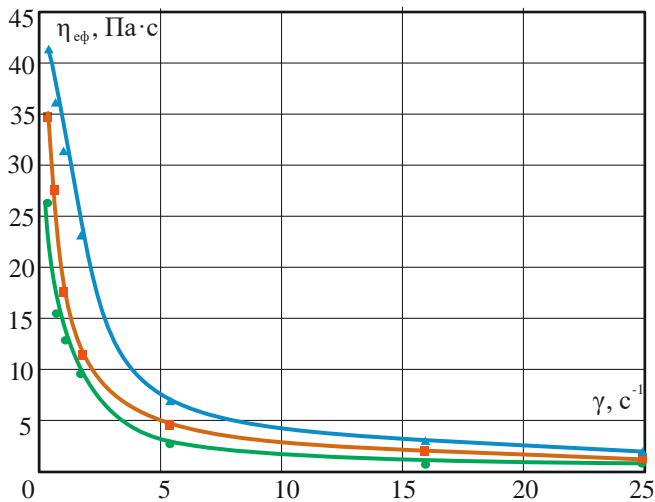


Рис. 1. Залежності в'язкості бурякових вичавків від швидкості зсуву: ● — 75 °С; ■ — 70 °С; ▲ — 65 °С

Наведена на рис. 1 залежність показує, що при підвищенні температури зразків бурякових вичавків у робочому діапазоні роторного випарника від 65 до 75 °С їх в'язкість зменшується від 42 до 27 Па·с.

При зменшених показниках в'язкості забезпечується вищий ступінь перемішування дослідного зразка під час концентрування, що сприяє більшим значенням коефіцієнтів теплопередачі роторного випарника, скорочуючи тривалість термічної обробки. Тому при теплової обробці бурякових вичавків рекомендовано використовувати найбільший показник температури 75 °С, що відповідає 27 Па·с

при не зруйнованій структурі. Під час розрахунку роторного випарника з частотою обертів мішалки  $200\text{--}300\text{ хв}^{-1}$  ефективна в'язкість складатиме відповідно  $3\text{--}5\text{ Па}\cdot\text{с}$  (рис. 1).

Характер реологічних залежностей концентрованих бурякових вичавків свідчить про належність дослідних зразків до псевдопластиків, в'язкість яких є властивістю рівноважного стану між процесом руйнування і відновлення.

Концентровані бурякові вичавки досушують до вмісту сухих речовин  $87,0\text{--}90,0\%$  до порошкоподібного фракційного стану. Отримані таким чином сушені бурякові вичавки вміщують у своєму складі: харчових волокон —  $68,7\text{ г}/100\text{ г}$ , в тому числі целюлози —  $21,6$ ; геміцелюлози —  $22,8$ ; пектинові речовини —  $24,3$ . Низькомолекулярних фенольних сполук —  $7,8\text{ мг}/100\text{ г}$ ; магній —  $136\text{ мг}/100\text{ г}$ ; натрій —  $255\text{ мг}/100\text{ г}$ ; кальцій —  $350\text{ мг}/100\text{ г}$ .

Виготовлені сушені бурякові вичавки мають дисперсність часток  $0,2\text{--}0,25\text{ мм}$ , жовтого кольору, активна кислотність  $4$  град. Отримані порошкоподібні фракційні бурякові вичавки мають можливість використання, зокрема в технологіях різноманітних борошняних кондитерських виробів, наприклад кексів.

Визначено вплив сушених бурякових вичавків на структурно-механічні показники тіста для кексів (рис. 2). Найбільший показник ефективної в'язкості  $\eta_{\text{еф}}$  (Па·с) досліджених зразків тіста для кексів з додаванням сушених бурякових вичавків  $10\%$  —  $347$ ;  $15\%$  —  $384$ ;  $20\%$  —  $442$  і контролю —  $287$  відповідно. Дослідні залежності свідчать про підвищення значень ефективної в'язкості порівняно з контролем (без добавки), що є якісним показником зміцнення отримуваної структури тіста.

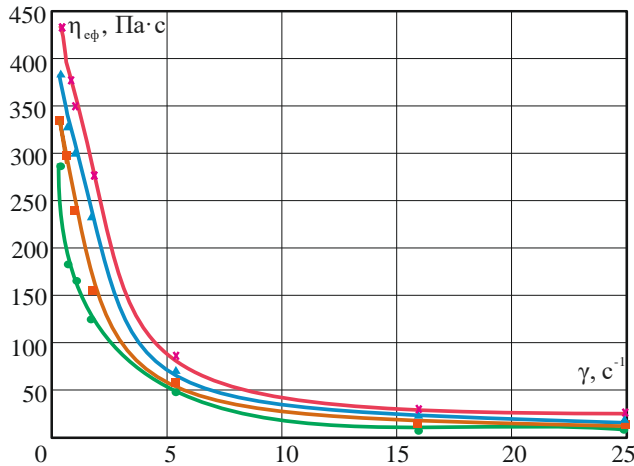


Рис. 2. Залежності в'язкості від швидкості зсуву тіста для кексів із сушеними буряковими вичавками при  $t=20\text{ }^\circ\text{C}$ : ● — контроль (без добавки); ■ —  $10\%$ ; ▲ —  $15\%$ ; × —  $20\%$

З рис. 2, видно, що показник ефективної в'язкості для контролю становить  $287\text{ Па}\cdot\text{с}$  при цілісній структурі. Додавання сушеного фракційного порошку бурякових вичавків у кількості  $10\text{--}20\%$  заміни борошна пшеничного дає змогу підвищити значення ефективної в'язкості у  $1,2\text{--}1,5$  раза.

Аналіз наведених залежностей тіста для кексів підтверджує, що всі вони починають текти не на початку прикладення швидкості зсуву, що характеризує дослідні зразки як неідеально-пластичні твердоподібні тіла. Поетапне збільшення напруження зсуву призводить до руйнування структури дослідних зразків і при показнику швидкості  $15 \text{ c}^{-1}$  усі зразки мають ознаки ньютонівської рідини.

Поряд з показниками якості тіста важливими є характеристики випечених кексів. Так, додавання бурякових вичавків сприяє зміні структурно-механічних властивостей випечених кексів. Це підтверджується даними penetрації м'якушки кексів, що є характеристикою її стискуваності (рис. 3).

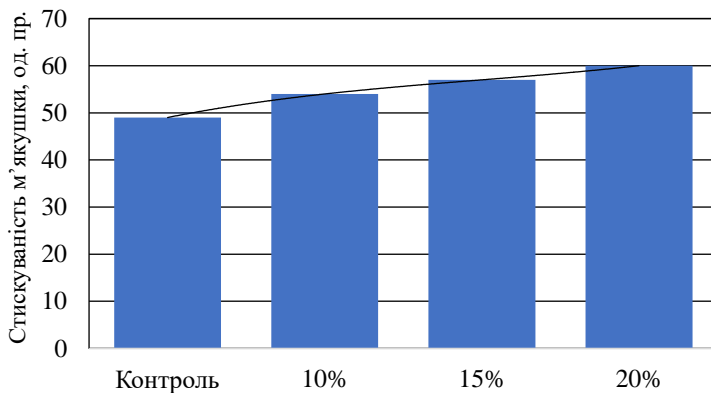


Рис. 3. Стискуваність м'якушки кексів з буряковими вичавками у кількості, % заміни борошна: контроль (без добавки); 10%; 15%; 20%

Дані рис. 3 свідчать, що стискуваність м'якушки кексів зі збільшенням кількості порошку бурякових вичавків збільшується на 10,2—22,4%. Це, на наш погляд, може бути пов'язано зі збільшенням вологості виробів (табл. 1) за рахунок значної водопоглинальної здатності бурякових вичавків, які є джерелом харчових волокон.

Таблиця 1. Органолептичні та фізико-хімічні показники якості кексів із сушеними буряковими вичавками

Показник	Характеристика показників (% заміни борошна буряковими вичавками)			
	Контроль (без добавки)	10	15	20
Зовнішній вигляд	Правильна, без надломів	Правильна, без надломів	Правильна, без надломів	Правильна, без надломів, з тріщинами та підривами
Колір	Скоринки — золотистий, м'якушки — світло-жовтий	Скоринки — бежевий, м'якушки — жовтий	Скоринки і м'якушки — світло-коричневий	Скоринки — коричневий, м'якушки — світло-коричневий

Смак та запах	Властивий виробу, без стороннього запаху та присмаку	Властивий виробу, приємний, з ледве відчутним запахом та присмаком добавки	Властивий виробу, з приємним запахом та присмаком добавки	Властивий виробу, з яскраво вираженим запахом та присмаком добавки
Вид в розломі	Добре пропечений кекс, без закалу і слідів непромісу	Добре пропечений кекс, без закалу і слідів непромісу, з вкрапленнями добавки	Добре пропечений кекс, без закалу і слідів непромісу, з вкрапленнями добавки	Добре пропечений кекс, без закалу і слідів непромісу, з вкрапленнями добавки, дещо зягнута структура
Масова частка вологи, %	18,0±0,9	19,0±0,9	19,7±0,9	20,1±0,9
Лужність, град	2,0±0,05	1,9±0,05	1,8±0,05	1,7±0,05
Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /г	2,7±0,5	2,7±0,2	2,7±0,2	2,6±0,2

З табл. 1 видно, що додавання сушених бурякових вичавків у кількості 10—15% із заміною борошна не змінює зовнішнього вигляду виробів порівняно з контрольним зразком. Збільшення кількості добавки до 20% погіршує показник зовнішнього вигляду кексів, оскільки на їх поверхні з'являються підриви. Внесення сушених бурякових вичавків сприяє зміні кольору скоринки кексів із золотистого (контроль) до бежевого (10%), світло-коричневого (15%) та коричневого (20%). А колір м'якушки зі світло-жовтого (контроль) до жовтого (10%) та світло-коричневого (15—20%). Смак і запах кексів із сушеними буряковими вичавками у кількості 10—15% приємний, із запахом і присмаком добавки. Підвищення кількості до 20% сприяє наданню яскраво вираженого присмаку та запаху бурякової сировини. Показник у розломі свідчить, що за внесення 10—15% сушених бурякових вичавків кекси добре пропечені та мають рівномірні вкраплення добавки, що відповідає вимогам нормативної документації. Збільшення кількості до 20% спричиняє зягання м'якушки кексів.

Додавання сушених бурякових вичавків у кількості 10—20% із заміною борошна підвищує масову частку вологи кексів на 5,5—11,6% відповідно порівняно з контрольним зразком. Лужність виробів знижується на 5,0—15,0% за внесення 10—20% добавки відповідно порівняно з контролем. Питомий об'єм кексів з буряковими вичавками у кількості 10—15% не змінюється, а зі збільшенням їх кількості до 20% знижується на 3,7%.

Загалом за всіма показниками якості кекси із сушеними буряковими вичавками відповідають вимогам нормативної документації. Враховуючи дані табл. 1 обираємо дослідний зразок кексу з вмістом сушених бурякових вичавків у кількості 15%

із заміною борошна. Це пояснюється вмістом у них достатньої кількості фізіологічно функціональних інгредієнтів за добрих органолептичних і фізико-хімічних показників якості.

У розроблених кексах з буряковими вичавками визначали вміст харчових волокон, мінеральних речовин, низькомолекулярних сполук. Встановлено, що кекси містять (на 100 г): харчових волокон — 3,08 г, в тому числі целюлози — 0,97 г, геміцелюлоз — 1,02 г, пектинових речовин — 1,09 г. А також (мг/100г): низькомолекулярних фенольних сполук — 0,35; магнію — 6,12; натрію — 11,47 та кальцію — 15,75 відповідно.

Встановлено, що додавання 15% сушених бурякових вичавків дає змогу підвищити вміст фізіологічно функціональних інгредієнтів за забезпечення добрих органолептичних та фізико-хімічних показників якості.

## Висновки

Обґрунтовано спосіб виробництва сушених фракційних порошкоподібних бурякових вичавків, який відрізняється застосуванням низькотемпературних режимів концентрування в роторному випарнику та досушування у вальцьової ІЧ-сушарки відповідно. Використання цього обладнання дає змогу проводити обробку за щадних температурних режимів на рівні 65—75 °С, що сприятиме збереженню фізіологічно функціональних інгредієнтів. Визначено реологічні характеристики концентрованих бурякових вичавків у роторному випарнику в діапазоні температур 65—75 °С. Встановлені показники дали змогу виявити тенденцію до зменшення ефективної в'язкості залежно від температури в діапазоні 42 до 27 Па·с. Також враховуючі робочі параметри роторного випарника (оберти мішалки 200—300 хв<sup>-1</sup>), встановлено рівень ефективної в'язкості бурякових вичавків 3—5 Па·с.

Проведені дослідження реологічних характеристик тіста для кексів з внесенням сушених бурякових вичавків підтвердили наростання пружно-в'язких властивостей зі збільшенням кількості добавки. Найбільший показник ефективної в'язкості  $\eta_{ef}$  (Па·с) досліджених зразків тіста для кексів з додаванням добавки 10% — 347; 15% — 384; 20% — 442 і контролю — 287 відповідно. Також визначено стискуваність м'якушки готових кексів, яка збільшується на 10,2–22,4% після підвищення кількості порошку бурякових вичавків. Для виявлення оптимальної кількості сушених бурякових вичавків у рецептурі кексів визначено органолептичні та фізико-хімічні показники якості кексів. Встановлено, що оптимальна кількість внесення порошку складає 15%.

Обраний зразок кексів із вмістом сушених бурякових вичавків у кількості 15% із заміною борошна містить фізіологічно функціональні інгредієнти, зокрема харчові волокна, низькомолекулярні фенольні сполуки, мінеральні речовини. Подальші дослідження планується провести у напрямку визначення змін виробів під час зберігання та економічної ефективності виробництва під час їх впровадження.

## Література

Касабова К., Загоруйко А., Загоруйко А., Шматченко Н., Симакова О., Горяїнова І., Володько О. и Миронов Д. (2021). Совершенствование технологии изготовления пастилы с использованием разработанной многокомпонентной фруктово-ягодной пасты. *Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий*, 3 11(111), 49—56. <https://doi.org/10.15587/>

1729-4061.2021.231730.

Михайлов В. М., Загорулько О. Є., Загорулько А. М., Касабова К. Р., Гордієнко І. О. (2019). Створення якісно нових плодоовочевих напівфабрикатів і кондитерських виробів на їх основі з оздоровчими властивостями. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 25(5), 162—172.

Пашнюк Л. О. Харчова промисловість України: стан, тенденції та перспективи розвитку. Взято з: <http://dspace.nbuu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/48329/18-Pashniuk.pdf?sequence=1>.

Самохвалова, О. В., Касабова, К. Р., Олійник, С. Г. (2014). The influence of the enriching additives on the dough structure formation and baked muffins. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 10(67), 32—36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.20024>.

Самохвалова, О. В., Чернікова, Ю. О., Олійник, С. Г., & Касабова, К. Р. (2015). Вплив мікробних полісахаридів на властивості пшеничного борошна. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 10(78), 11—15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56177>.

Черевко О. І., Михайлов В. М., Кітгела Л. В., Захаренко В. О., Загорулько О. Є. (2015). *Процеси виробництва багатокomпонентних паст із органічної сировини*. Харків: ХДУХТ.

Bucher T., van der Horst K., Siegrist M. (2013). Fruit for dessert. How people compose healthier meals. *Appetite*, 60, 74—80, <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.10.003>.

Galanakis Charis M., Rizou Myrto, Aldawoud Turki M. S., Ucak Iknur, Rowan Neil J. (2021). Innovations and technology disruptions in the food sector within the COVID-19 pandemic and post-lockdown era. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 193—200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.002>.

Munekata Paulo E. S., Pérez-Álvarez Jose Ángel, Pateiro Mirian, Viuda-Matos Manuel, Fernández-López Juana, Lorenzo Jose M. (2021) Satiety from healthier and functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 397—410, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.025>.

Mykhailov V., Zahorulko A., Zagorulko A., Liashenko B., Dudnyk S. (2021). Method for producing fruit paste using innovative equipment. *Acta Innovations*, 39, 15—21. Взято з: <https://www.proakademia.eu/en/acta-innovations/find-issueskw/all-articles-2021/no392/>.

Nirmal Nilesh Prakash, Mereddy Ram, Maqsood Sajid (2021). *Recent developments in emerging technologies for beetroot pigment extraction and its food applications*. *Food Chemistry*, 356, 129611, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129611>.

Pap Nora, Fidelis Marina, Azevedo Luciana, Araújo Vieira do Carmo Mariana, Wang Dongxu, Mocan Andrei, Rodrigues Pereira Eliene Penha, Xavier-Santos Douglas, Sant'Ana S Anderson, Yang Baoru, Granato Daniel (2021). Berry polyphenols and human health: evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. *Current Opinion in Food Science*, 42, 167—186. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.

Pereira Silveira Arlan Caldas. (2015). Thermodynamic and hydrodynamic characterization of the vacuumevaporation process during concentration of dairy products in a falling film evaporator. Food and Nutrition. Agrocampus Ouest, English. NNT: 2015NSARB269. Взято з: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01342521>.

Zahorulko, A., Zagorulko, A., Yancheva, M., Ponomarenko, N., Tesliuk, H., Silchenko, E., Paska, M., & Dudnyk, S. (2020). Increasing the efficiency of heat and mass exchange in an improved rotary film evaporator for concentration of fruit-and-berry puree. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 8(108), 32—38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218695>.

## STUDY OF THE USING OF SPICY-AROMATIC RAW MATERIALS IN PRODUCTION OF HIGH-TEMPERATURE COEXTRUSION PRODUCTS AND THEIR INFLUENCE ON THE PROCESS OF STORAGE

L. Makhynko, V. Kovbasa

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Breakfast cereals*  
*High-temperature*  
*coextrusion*  
*Fat filling*  
*Pillows*  
*Spices*  
*Oxidation of the fat*  
*Nutritional value*

---

**Article history:**

Received 12.10.2023  
Received in revised form  
26.10.2023  
Accepted 10.11.2023

---

**Corresponding author:**

L. Makhynko  
**E-mail:**  
makhynkolv@gmail.com

**Citation:** Л. В. Махінько, В. М. Ковбаса (2023). Дослідження використання пряно-ароматичної сировини у виробництві продуктів високотемпературної коекструзії та її впливу на процес зберігання. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 122—132.  
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-12

---

**ABSTRACT**

Many instant food products are offered at the market: various soups, porridges, sweets based on extruded raw materials. The range of offered breakfast cereals is also wide. However, most of these foods are sweet. Development of high-temperature coextrusion products with fat salty fillings will promote widening of the range of breakfast cereals. They can be easily consumed as a snack, in dry form together with vegetable juices, or poured with broth.

The possibility of using certain types of spicy-aromatic raw materials in production of cereal pillows with salty fillings was investigated. Selection of additives was done due to sensory characteristics (color vividness, pleasant aroma, pungent taste) of the spices. This will allow to provide attractive colors, aromas, tastes to the fillings without resorting to artificial coloring agents, flavor enhancers and flavoring agents. Dried ground turmeric, basil and red paprika were selected for the work.

The possibility of their addition to recipe compositions of salty fillings for cereal pillows was confirmed based on previous studies of certain quality indicators of selected spices. The spices were added to the recipes in the quantity of up to 1.5% of the weight of the filling instead of rice flour. After assessment of the main quality indicators of the fillings obtained, conclusions were made on the most rational doses of the additives.

Fat fillings for cereal pillows contain a significant quantity of fat (refined sunflower oil). The fat component of such products oxidizes during storage. The spicy-aromatic raw materials are rich in antioxidants, and can slow down the oxidation processes. The influence of selected spices on the process of oxidation of fat in fillings during storage was studied. It was shown that spices have positive effect on slowing down the processes of oxidation of the fat component of fillings.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2023-29-5-12

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНОЇ СИРОВИНИ У ВИРОБНИЦТВІ ПРОДУКТІВ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ КОЕКСТРУЗІЇ ТА ЇЇ ВПЛИВУ НА ПРОЦЕС ЗБЕРІГАННЯ

Л. В. Махинько, В. М. Ковбаса

*Національний університет харчових технологій*

*Сьогодні на ринку є багато харчових продуктів, призначених для миттєвого приготування. Це різноманітні супи, каші, солодкі страви на основі екструдованої сировини тощо. Широким асортиментом представлені сухі сніданки. Переважна частка цих продуктів солодких смаків. Розроблення продуктів високотемпературної коекструзії з жировими начинками солоного смаку сприятиме розширенню асортименту сухих сніданків. Їх зручно споживати як перекус, у сухому вигляді в поєднанні з овочевими соками або заливати бульйоном.*

*У статті розглянуто можливість використання деяких видів пряно-ароматичної сировини у виробництві зернових подушечок з солоними начинками. При виборі добавок керувалися органолептичними показниками (яскравість кольору, присмний аромат, пікантний смак) пряноців. Це дає змогу надавати начинкам привабливого кольору, аромату й смаку без використання синтетичних барвників, підсилювачів смаку та ароматизаторів. Для дослідження було обрано сушені мелені куркуму, базилік і паприку червону.*

*На основі попередніх досліджень деяких показників якості обраних пряноців підтверджено можливість їх внесення до рецептурних композицій солоних начинок для зернових подушечок. Пряноці вносили до рецептур у кількості до 1,5% до маси начинки на заміну рисового борошна. Після оцінки основних органолептичних показників якості одержаних начинок робили висновки про найбільш раціональні дозування добавок.*

*Жирові начинки для зернових подушечок містять у своєму складі значну кількість жиру (олії соняшникової рафінованої). При зберіганні таких виробів відбуваються процеси окиснення жирової складової. Пряно-ароматична сировина, багата на антиоксиданти, може сповільнювати ці процеси. Також досліджено вплив обраних пряноців на процеси окиснення жиру в начинках при зберіганні. Одержані результати свідчать про позитивний вплив пряноців на сповільнення окиснювальних процесів жирової складової начинки.*

**Ключові слова:** *сухі сніданки, високотемпературна коекструзія, жирова начинка, подушечки, пряноці, окиснення жирів, харчова цінність.*

**Постановка проблеми.** Щорічне збільшення ринку готових сухих сніданків супроводжується ще й істотно якісною зміною самих продуктів, оскільки зріс інтерес споживача до здорової їжі (Yakymenko, Tsybulin, & Sharovalov, 2019). Тому наразі активно ведуться роботи з розроблення нових видів сухих сніданків на зерновій основі, отриманих за допомогою екструзійної технології з певними

показниками якості (Chepulis, Everson, Ndanuko, & Mearns, 2019; Дзюба, & Буняк, 2023; Santos, Pintado, & Lopes da Silva, 2022).

Удосконалення існуючих на сьогодні технологій дасть змогу використовувати велику кількість різноманітної сировини, в тому числі рослинної, на різних стадіях виробництва сухих сніданків підвищеної харчової, біологічної цінності з подовженим терміном зберігання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сухі сніданки з начинками, випускають здебільшого солодкими, які за своїм смаком нагадують кондитерські вироби. При їх виготовленні використовують пшеничне та рисове борошно, кукурудзяну крупу, суху молочну сироватку, цукор, рослинний жир, сухе молоко, різноманітні смакові добавки. Проте, незважаючи на досить високу харчову цінність і добру засвоюваність, ці продукти потребують поліпшення хімічного складу, зокрема збільшення вмісту білка та ступеня збалансованості амінокислот, вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон.

Аналіз останніх досліджень показує, що більшість праць з підвищення харчової цінності сухих сніданків спрямовано на вдосконалення рецептурного складу екструдованих зернових продуктів (Валевська, 2018; Dushkova, Toshkov, Koleva, & Balkanski, 2014). Водночас недостатньо досліджені продукти високотемпературної коекструзії.

Перспективним напрямком є розроблення рецептурних композицій та удосконалення технології продуктів високотемпературної коекструзії з солоними начинками. При цьому ще недостатньо вивчено вплив різних природних добавок на формування харчової, біологічної цінності та збереженість продуктів коекструзії (Perdon, Schonauer, & Poutanen, 2020; Croisier, Hughes, Duncombe, & Grafenauer, 2021).

Таким чином, проведення наукових досліджень щодо можливості розширення асортименту продуктів коекструзії та використання при їх виробництві збагачувальних добавок рослинного походження є актуальним та своєчасним завданням.

У праці (Махинько, & Ковбаса, 2021) з пошуку сировини та розроблення нових рецептурних композицій солоних начинок для продуктів високотемпературної коекструзії було встановлено, що основною сировиною для начинки обрано олію соняшникову рафіновану, борошно з круглозерного рису, крохмаль кукурудзяний і сироватку молочну суху. Підібрано такий рецептурний склад компонентів, який забезпечує високі органолептичні, необхідні фізико-хімічні та реологічні властивості солоних начинок. У результаті отримано рецептурні композиції (табл. 1).

*Таблиця 1. Рецептурні композиції солоних начинок*

Компонент	Вміст, %, залежно від зразка		
	1	2	3
Борошно рисове	24,3	20,6	25,0
Крохмаль кукурудзяний	24,0	26,0	21,4
Олія соняшникова рафінована	35,8	37,3	38,0
Сироватка молочна суха	14,0	14,0	13,5
Емульгатор	0,4	0,6	0,6
Сіль	1,5	1,5	1,5
Разом	100,0	100,0	100,0

Прянощі мають багатий хімічний склад і внесення їх до рецептури продукту підвищить його харчову цінність. Вони мають яскраво виражені колір, аромат, пікантний смак і характеризуються антиоксидантними властивостями. Куркуму та паприку червону використовують як харчові натуральні барвники (Soleimani, Sahebkar, & Hosseinzadeh, 2018). Отже, це дає широкі можливості для розширення асортименту та перспективу реалізації нових продуктів коекструзійної технології з начинками зеленого, жовтого та червоного кольору, кожна з яких також матиме свій особливий смак і аромат.

Куркума (*Curcuma longa L.*) — пряноароматична рослина родини імбирних, її батьківщиною вважають Індокитай, де вирощується й вживається найбільша кількість цієї пряної культури. Хімічний склад куркуми багатий і різноманітний. Крім ефірних олій (1,5...5,0%), алкалоїдів, вітамінів (С, Е, К, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>), йоду, заліза, фосфору і кальцію, у корені куркуми містяться такі складові елементи: куркумін (0,6%) — сильний антиоксидант з групи флавоноїдів; цинеол — хімічна сполука, що позитивно впливає на травлення.

Вітамін К має виражену кровоспинну дію, а також він є стимулятором утворення антиоксиданту в організмі людини — глутатіону. Кореневище багате й іншими корисними речовинами, такими як борнеол, сабінен, цингіберен (2,5%).

Куркума має слабкий, пряний, іноді ледь відчутний аромат, слабо пекучий смак, який при збільшенні дозування змінюється на гострий, пекучий. Вона має здатність подовжувати термін зберігання продуктів. У невеликих кількостях поліпшує аромат кондитерських виробів, маринадів. Куркумін розчиняється в жирах, тому в харчовій промисловості його використовують для фарбування масла, маргарину, сирів (Salem, El-Shiekh, Alseekh, & Zayed, 2022).

Базилік (*Ocimum basilicum L.*) — однорічна трав'яниста рослина. Прянощами слугує листя і цвіт. Є чудовою приправою до супів, салатів. Наземна частина містить до 1,5% ефірної олії, що зумовлює сильний специфічний аромат. Вона включає в себе такі речовини: метилхавікол, цинеол, ліналоол, камфору, оцимен. Ефірна олія має бактерицидні властивості, покращує травлення, застосовується при хронічних запаленнях шлунку. Також у складі базилику міститься до 6,0% дубильних речовин, глікозиди, вітаміни К, А, С (Romano, De Luca, Aiello, Pizzolongo, & Masi, 2022).

Паприка червона — це суміш, змелена із сушеного солодкого перцю червоних сортів (*Capsicum annuum*). М'якоть висушують, розтирають у порошок, що має яскраво-червоний колір і солодкуватий смак з присмаком гіркоти. Благородна солодка паприка — один з найбільш уживаних сортів з високим вмістом аскорбінової кислоти. Хімічний склад паприки багатий на такі речовини: капсаїцин (алкалоїд, що обумовлює гостроту паприки), флавоноїд рутин (сильний антиоксидант), ефірні олії, пігменти, мінеральні речовини, вітаміни А, С, К, Е (Salehi, Hernández-Álvarez, del Mar Contreras, & Sharifi-Rad, 2018).

Паприка широко використовується в кулінарії для надання стравам характерного аромату та смаку. Вона є натуральним барвником червоного кольору, який при нагріванні може переходити у помаранчевий (Anaya-Esparza, Mora, Vázquez-Paulino, & Villarruel-López, 2021).

Застосування прянощів дасть змогу значно розширити асортимент сухих сніданків, проте значна кількість їх біологічно активних речовин руйнується під дією

високих температур. Тому, використовуючи цю сировину в рецептурах сухих сніданків, перевагу слід надавати продуктам коекструзії і вносити її до складу саме начинки. Максимальна температура, що її досягає начинка в ході технологічного процесу, 70 °С, завдяки цьому забезпечується збереженість цінних речовин прянощів.

**Мета дослідження:** вивчити вплив обраних видів пряно-ароматичної сировини на органолептичні показники якості солоних начинок для продуктів високотемпературної коекструзії, поліпшення їх харчової цінності, подовження термінів їх зберігання.

**Матеріали і методи.** Під час проведення лабораторних досліджень використовували крупу рисову (ДСТУ 4965:2008), цукор білий кристалічний (ДСТУ 4623:2006), молоко сухе знежирене (ДСТУ 4273:2015), сироватку молочну суху (ДСТУ 5452:2006), крохмаль кукурудзяний (ДСТУ 3976:2000), олію соняшникову рафіновану дезодоровану (ДСТУ 4492:2017), лецитин (фірми «Штерн»), сіль екстра (ДСТУ 3583:2015). Сушені, мелені: паприку червону (ДСТУ ISO 972:2008), куркуму (ТУ У 30352116.001-2017), базилік (ДСТУ ISO 2825:2009).

Для приготування жирових начинок дозували всі компоненти згідно з рецептурою та інтенсивно перемішували протягом 10—15 хв.

Органолептичні, фізико-хімічні показники якості визначали за загальноприйнятими і спеціальними методиками (Дорохович, & Ковбаса, 2015). Органолептичні показники якості продуктів визначали згідно з ДСТУ 2903:2005. Масову частку вологи — за ДСТУ 8004:2015.

Ступінь окиснення жирів в продуктах визначали за зміною кислотного та перекисного чисел. Ліпідну витяжку готували екстракцією з наважки продукту у хлороформі при постійному струшуванні протягом 3 год з подальшим фільтруванням і випарюванням хлороформу (Levytskyu, Moravskaya, Fedor, & Kushnir, 2021).

Вивчення антиокиснювальних властивостей обраної сировини проводилось прискорено-кінетичним методом. Продукт з додаванням прянощів зберігали в термостаті при температурі 60±2 °С і кожні 24 год відбирали проби. Якість жирової складової визначали за вмістом продуктів окиснення і гідролізу (Гирка, 2011).

**Викладення основних результатів дослідження.** При встановленні раціональних дозувань прянощів, керувались можливістю отримання продукту з високими органолептичними показниками та структурно-механічними властивостями.

Знання особливостей сировини — один зі шляхів управління технологічними процесами виробництва коекструзійних продуктів з метою їх інтенсифікації та покращення якості готової продукції.

У продуктах високотемпературної коекструзії масова частка вологи сировини є одним з вирішальних факторів якості начинки. Адже в продуктах коекструзії існує проблема фазового переходу начинки в корпус, що значною мірою зумовлене саме вологістю начинки та її складових компонентів.

Проведено дослідження масової частки вологи рецептурних компонентів та самої начинки. Визначили, що масова частка вологи складових компонентів становить від 5,0 до 12,0%, — начинки 6,0%, що відповідає вимогам відповідних

стандартів. Додавання прянощів не позначиться на зміні масової частки вологи начинки, оскільки вона знаходиться в межах значень масової частки вологи основної сировини.

Жиропоглинальна здатність порошкоподібної сировини має важливе значення при виготовленні начинок. Вона, значною мірою, залежить від масової частки вологи сировини. Регулюючи масову частку вологи сировини, в кінцевому результаті можливо змінювати її жиропоглинальну здатність. Результати дослідження представлені в табл. 2. Як видно з таблиці, найбільшу жиропоглинальну здатність має базилік, найменшу — паприка червона. Можна зробити припущення, що ці відмінності зумовлені різним гранулометричним складом компонентів та адсорбційною здатністю їхніх частинок. Одержані дані можуть слугувати основою для розрахунку і регулювання вмісту жиру багатокомпонентних харчових продуктів.

Таблиця 2. Жиропоглинальна здатність рецептурних компонентів, %

Сировина	Адсорбція жиру ( $\pm 1,0$ )
Рисове борошно	150,0
Крохмаль кукурудзяний	130,0
Суха молочна сироватка	145,0
Куркума	136,0
Базилік	247,0
Паприка червона	123,5

На першому етапі досліджень можливу кількість прянощів визначали органолептично. Прянощі вносили до складу начинки у вигляді порошку на заміну рисового борошна. Відмінності в дозуванні різних прянощів обумовлені власними характеристиками сировини. Наприклад, в ході проведення літературного огляду було виявлено дані, що застосування куркуми є обмеженим, оскільки вона має насичений колір, тому її доцільно використовувати в кількості до 1 г на 100 г продукту. Базилік має свій специфічний смак та аромат і при збільшенні дозування цієї добавки понад 0,8% спостерігається погіршення органолептичних властивостей продукту. Збільшення дозування паприки червоної більше 1,0% до маси начинки призводить до зниження органолептичних показників її якості.

Одержані висновки підтверджують, що раціональні дозування прянощів, які забезпечують привабливий зовнішній вигляд, приємний аромат і пікантний смак, становлять: куркуми — 0,6%, паприки червоної у кількості 1,0% , базиліку — 0,8% до маси начинки.

Як бачимо з отриманих даних дозування прянощів не перевищує 1,0 % до маси начинки. Отже, можна зробити висновок, що показник жиропоглинальної здатності базиліку не матиме суттєвого впливу на зміну фізико-хімічних показників якості начинки.

Продукти високотемпературної коекструзії (сухі сніданки) мають досить низький вміст вологи (до 6,0%). Крім того, в ході оброблення сировини в екструдері, під дією високої температури й тиску, забезпечується стерилізація готового продукту, що сприяє досить тривалому зберіганню екструдатів без втрати якості.

Однак коекструзійні продукти є складними системами, як за компонентним (зерновий корпус та начинка), так і за хімічним (значний вміст жиру) складом. В процесі зберігання вони підлягають змінам, пов'язаними з автоокисненням жирової складової, що призводить до погіршення якості та псування продукту.

Жировою основою начинок переважно є олія, багата на поліненасичені жирні кислоти, у тому числі есенціальні, особливо чутливі до дії молекулярного кисню повітря.

Проблема захисту жирів від окиснювального псування, незважаючи на пильну увагу до неї з боку дослідників, далека від свого вирішення. З метою сповільнення процесу окиснення жирів застосовують різні технологічні прийоми. Найбільш поширеним з них можна вважати такий, що забезпечує відсутність контакту жиру з киснем, наприклад, герметичне пакування. Однак цей спосіб досить важко застосовувати в умовах зберігання жирів та олій. Одним із простих і ефективних прийомів гальмування окиснювального псування жирів (особливо під час зберігання) є додавання антиоксидантів. Сьогодні до складу начинок вносять синтетичні речовини, що здатні гальмувати процес самоокиснення жирів, зокрема бутилгідроксианізол або бутилгідрокситолуол, похідні галової кислоти тощо.

Провідні країни світу надають перевагу у виготовленні харчових продуктів природним інгібіторам окиснення. За кордоном і в Україні проводились дослідження антиокиснювальної здатності багатьох видів нетрадиційної рослинної, зокрема лікарської сировини. Рослинні антиоксиданти нетоксичні, доступні. Важливо відзначити, що деякі рослинні антиоксиданти порівняно із синтетичними, не тільки безпечні для вживання, але й підвищують біологічну і фізіологічну цінність продуктів (Dhama, Sharun, Gugjoo, & Farag, 2021). Незважаючи на всі ці переваги, на сьогодні на практиці вкрай рідко застосовуються рослинні антиоксиданти, особливо жиророзчинні. Тому актуальним є вивчення впливу рослинних антиоксидантів на процес окиснення жирів.

Отже, одним із завдань було вивчення впливу запропонованих авторами прянощів на швидкість перебігу процесу автоокиснення жирових начинок для продуктів високотемпературної коекструзії, а також проведення порівняльної оцінки їх антиоксидантної активності. Об'єктами досліджень були розроблені рецептурні композиції (табл. 3) солоних начинок для коекструзійних продуктів.

**Таблиця 3. Рецептурні композиції солоних начинок для продуктів високотемпературної коекструзії**

Компонент	Вміст, %			
	Контроль (без добавок)	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Крохмаль кукурудзяний	21,4	21,4	21,4	21,4
Рисове борошно	25,0	24,4	24,0	24,2
Олія соняшникова	38,0	38,0	38,0	38,0
Суша молочна сироватка	13,5	13,5	13,5	13,5
Сіль	1,5	1,5	1,5	1,5
Лецитин	0,6	0,6	0,6	0,6
Куркума	—	0,6	-	—

*Продовження таблиці 3*

Паприка червона	—	—	1,0	—
Базилік	—	—	—	0,8
Разом	100,0	100,0	100,0	100,0

Антиокиснювальна ефективність досліджуваних продуктів обумовлена особливостями їх складу, а також тривалістю зберігання. Під час проведення експерименту помітно змінювались якісні показники жирової основи начинок. Зокрема, це стосується динаміки накопичення перекисних сполук. Показником, що характеризує кількість утворених перекисів, є перекисне число (ПЧ).

Для порівняння ефективності антиокислювальних властивостей пряно-ароматичної сировини вивчали динаміку накопичення перекисних сполук у зразках начинок без добавок і з додаванням прянощів у встановлених раніше кількостях. Результати досліджень зміни перекисних чисел представлено в табл. 4.

*Таблиця 4. Зміни перекисного числа жиру в начинках, % йоду ( $\pm 0,01$ )*

Начинка	Тривалість зберігання, діб				
	2	4	6	8	10
Контроль	0,292	0,323	0,404	0,431	0,510
Зразок 1 (0,6% куркуми)	0,226	0,275	0,315	0,389	0,428
Зразок 2 (1,0% паприки)	0,207	0,234	0,281	0,362	0,403
Зразок 3 (0,8% базиліку)	0,186	0,206	0,250	0,311	0,378

*Примітка:* початкове перекисне число — 0,06% йоду.

За температури зберігання  $60 \pm 2$  °C інтенсивніше окислювався зразок начинки без добавок (контроль). На другу добу зберігання найбільшим приростом досліджуваного показника характеризувався контрольний зразок. Серед начинок з додаванням прянощів найбільший приріст перекисів мала начинка з 0,6% куркуми. Менше всього продуктів окиснення накопичилось у начинці з 0,8% базиліку. Кінець експерименту визначали за прогірканням начинки органолептично.

Одержані результати свідчать, що порошок базиліку сприяв гальмуванню процесу автоокиснення жиру з такою ефективністю: за дві доби — у 1,6 раза; за 4 доби — в 1,8 раза; за 6 діб — у 1,6 раза; за 8 діб — в 1,4 раза; за 10 діб — в 1,3 раза. Це можна пояснити тим, що активні сполуки, присутні у порошок базиліку, а саме: ефірна олія, флавоноїди, вступають у взаємодію з перекисними радикалами, виводячи їх з ланцюгової реакції, і, як наслідок, сповільнюється процес автоокиснення жиру. Для порошку базиліка максимальна стабілізуюча дія припадає на четверту добу зберігання начинки. Після цього періоду спостерігається зниження інгібуючих властивостей внесеного компонента. Таке явище, ймовірно, обумовлене поступовим витрачанням активних сполук, що призводить до розгалуження ланцюгових реакцій окиснення.

Деяко менш ефективну стабілізуючу дію проявляв порошок паприки червоної. Так, за дві доби зберігання начинки з цією добавкою перекисне число жиру підвищилось у 1,4 раза; за чотири доби — в 1,6 раза; за 6 діб — у 1,4 раза; за 8 діб — в 1,3 раза; за 10 діб — в 1,2 раза. Порошок паприки червоної також багатий

на ефірну олію, флавоноїди, дубильні речовини, які ефективно гальмують окиснення ліпідної складової начинки. Максимальний стабілізуючий ефект паприки також проявила на четверту добу зберігання.

Внесення 0,6% порошку куркуми до складу начинки дало змогу сповільнити процес автоокиснення жирової складової за дві доби — у 1,3 раза; за чотири доби — у 1,4 раза; за 6 діб — в 1,3 раза; за 8 діб — в 1,1 раза. Характер прояву його інгібуючих властивостей аналогічний до попередніх добавок. Максимальна антиокиснювальна дія спостерігалась на четверту добу зберігання начинки. Проте дещо менша ефективність сповільнення процесу окиснення обумовлена нижчим дозуванням куркуми порівняно з іншими добавками.

Протягом експерименту одночасно з окисненням жирової основи начинок відбувався процес її гідролізу.

Показником, що характеризує кількість вільних жирних кислот, є кислотне число. Визначення кислотного числа жиру в начинках без прянощів та з їх додаванням показує (табл. 5), що кількість вільних жирних кислот протягом 10 діб зберігання підвищується. Для контрольного зразка вміст вільних жирних кислот в кінці експерименту перевищував початкове значення у 2,4 раза.

*Таблиця 5. Зміна кислотного числа жиру в начинках, мг КОН ( $\pm 0,01$ )*

Начинка	Тривалість зберігання, діб				
	2	4	6	8	10
Контроль	0,41	0,48	0,6	0,8	1,05
Зразок 1 (0,6% куркуми)	0,32	0,42	0,5	0,7	0,82
Зразок 2 (1,0% паприки)	0,32	0,39	0,43	0,63	0,72
Зразок 3 (0,8% базиліку)	0,31	0,39	0,42	0,58	0,65

*Примітка:* початкове кислотне число — 0,3 мг КОН.

Найбільший вміст продуктів гідролізу жирів у начинках із запропонованими прянощами спостерігали у зразку з 0,6% куркуми, дещо менший — з паприкою. З одержаних результатів видно, що найкращі інгібуючі властивості проявив базилік. Імовірно, це прояв сильних антиоксидантних властивостей вітамінів А, С та  $\beta$ -каротину, на які багатий хімічний склад даної пряності. Дослідний зразок з базиліком характеризувався найменшим приростом вільних жирних кислот в кінці експерименту.

Використання пряно-ароматичної сировини у виробництві солоних начинок на жировій основі дає змогу сповільнити накопичення продуктів окиснення і гідролізу жиру при зберіганні. Додавання 0,8% базиліку до складу жирової начинки сповільнює процес автоокиснення жиру у 0,8 раза, 1,0% паприки червоної — у 1,6 раза, 0,6% куркуми в 1,4 раза, якщо порівняти з контрольним зразком (начинка без добавок).

## **Висновки**

На основі узагальнення теоретичного і практичного матеріалу досліджено можливість використання пряно-ароматичної сировини в технології продуктів високотемпературної коекструзії.

Розроблено рецептурні композиції солоних начинок з додаванням прянощів шляхом визначення органолептичних і фізико-хімічних показників. Враховуючи вплив паприки червоної на органолептичні характеристики начинки встановлено, що її дозування не повинно перевищувати 1,0% до маси начинки. Доведено, що внесення куркуми у кількості 0,6% можливе без погіршення якісних показників продукту. Встановлено, що раціональна кількість базилику в начинці становить 0,8% до її маси.

Досліджено і встановлено, що при зберіганні продуктів високотемпературної коекструзії мають місце процеси гідролізу та окиснення жирової складової начинок. Додавання до складу прянощів дає змогу сповільнити процеси псування. Так, додавання 0,8% базилику сповільнює процес автоокиснення жиру в 1,8 раза, 1,0% паприки — в 1,6 раза, 0,6% куркуми — в 1,4 раза порівняно з контрольним зразком. Це дає змогу збільшити термін зберігання продуктів коекструзії з 1,5 до 2,5...3 місяців без застосування синтетичних антиоксидантів.

Перспективою подальших наукових досліджень є використання інших видів олії (кукурудзяної, конопляної тощо) в рецептурах солоних начинок з метою поліпшення їх харчової цінності та збалансованості жирнокислотного складу.

## Література

Валевська, Л. О. (2018). *Використання в харчуванні збагачених екструдованих зернових сніданків*. Сучасний рух науки. Дніпро, 61—64.

Гирка, О. І. (2011) *Споживні властивості і збереженість нових екструдованих продуктів* (Дис. канд. техн. наук). Львівська комерційна академія Укоопспілки, Львів.

Дзюба, Н. А., & Буняк, О. В. (2023). Дослідження безпечності екструдатів на основі круп'яної сировини. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (6), 59—67. DOI:<https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.6.8>

Дорохович, А. М., & Ковбаса, В. М. (2015). *Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів*. Київ: Інкос.

Махницько, Л. В., & Ковбаса, В. М. (2021). *Розроблення рецептурних композицій солоних начинок для продуктів високотемпературної коекструзії*. Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції. Київ: НУХТ, 80—81.

Anaya-Esparza, L. M., Mora, Z. V., Vázquez-Paulino, O., Ascencio, F., & Villarruel-López, A. (2021). Bell Peppers (*Capsicum annum* L.) Losses and Wastes: Source for Food and Pharmaceutical Applications. *Molecules*, 26. DOI:10.3390/molecules26175341.

Chepulis, L. M., Everson, N., Ndanuko, R. N., & Mearns, G. (2019). The nutritional content of children's breakfast cereals: a cross-sectional analysis of New Zealand, Australia, the UK, Canada and the USA. *Public Health Nutrition*, 23, 1589—1598. DOI:10.1017/S1368980019003537.

Croisier, E., Hughes, J., Duncombe, S. L., & Grafenauer, S. J. (2021). Back in Time for Breakfast: An Analysis of the Changing Breakfast Cereal Aisle. *Nutrients*, 13. DOI:10.3390/nu13020489.

Dhama, K., Sharun, K., Gugjoo, M. B., Tiwari, R., Alagawany, M., Iqbal Yattoo, M., Thakur, P., Iqbal, H., Chaicumpa, W., Michalak, I., Elnesr, S. S., & Farag, M.R. (2021). A Comprehensive Review on Chemical Profile and Pharmacological Activities of *Ocimum basilicum*. *Food Reviews International*, 39, 119—147. DOI:10.1080/87559129.2021.1900230.

Dushkova, M., Toshkov, N., Simitchiev, A., Koleva, A., & Balkanski, K. (2014). *Density and expansion index of extrudates from rice and goji berry*. Scientific works of University of Food Technologies, Plovdiv, LXI, 449—451.

Levytskyy, T. R., Moravskaya, O. V., Fedor, G. Y., Nedilka, G. Y., & Kushnir, G. V. (2021). Some quality indicators of vegetable oils under different storage conditions. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*, 22(1), 145—151. DOI:10.36359/scivp.2021-22-1.17.

Perdon, A. A., Schonauer, S. L., & Poutanen, K. (2020). *Breakfast Cereals and How They Are Made*. Woodhead Publishing and AACC International Press.

Romano, R., De Luca, L., Aiello, A., Pagano, R., Di Pierro, P., Pizzolongo, F., & Masi, P. (2022). Basil (*Ocimum basilicum* L.) Leaves as a Source of Bioactive Compounds. *Foods*, 11. DOI:10.3390/foods11203212.

Salehi, B., Hernández-Álvarez, A. J., del Mar Contreras, M., Martorell, M., Ramírez-Alarcón, K., Melgar-Lalanne, G., Matthews, K. R., Sharifi-Rad, M., Setzer, W. N., Nadeem, M., Yousaf, Z., & Sharifi-Rad, J. (2018). Potential Phytopharmacy and Food Applications of *Capsicum* spp.: A Comprehensive Review. *Natural Product Communications*, 13. DOI:10.1177/1934578X1801301133.

Salem, M. A., El-Shiekh, R. A., Fernie, A. R., Alseekh, S., & Zayed, A. (2022). Metabolomics-based profiling for quality assessment and revealing the impact of drying of Turmeric (*Curcuma longa* L.). *Scientific Reports*, 12. DOI:10.1038/s41598-022-13882-y.

Santos, D., Pintado, M. E., & Lopes da Silva, J. A. (2022). Potential nutritional and functional improvement of extruded breakfast cereals based on incorporation of fruit and vegetable by-products — A review. *Trends in Food Science & Technology*. DOI:10.1016/j.tifs.2022.05.010.

Soleimani, V., Sahebkar, A., & Hosseinzadeh, H. (2018). Turmeric (*Curcuma longa*) and its major constituent (curcumin) as nontoxic and safe substances: Review. *Phytotherapy Research*, 32, 985—995. DOI:10.1002/ptr.6054.

Yakymenko, I., Tsybulin, O., Shapovalov, Ye. (2019). Healthy lifestyle behaviors among university students in Ukraine. *Довкілля та здоров'я*, 1, 41—45. DOI:10.32402/dovkil2017.01.041.

## INTENSIFICATION OF SUNFLOWER OIL ENZYMATIC DEGUMMING BY ULTRASOUND TREATMENT

T. Nosenko, D. Zhupanova

National University of Food Technologies

---

### Key words:

Ultrasonic treatment  
Enzymatic degumming,  
phospholipids  
Sunflower oil

### Article history:

Received 04.10.2023  
Received in revised form  
18.10.2023  
Accepted 01.11.2023

### Corresponding author:

T. Nosenko

### E-mail:

tamara\_nosenko@ukr.net

**Citation:** Т. Т. Носенко, Д. О. Жупанова (2023). Інтенсифікація ферментативного дегумінгу соняшникової олії ультразвуковою обробкою. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 133—142.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-13

---

### ABSTRACT

Enzymatic degumming of vegetable oils is increasingly used to remove phospholipids from vegetable oils. One of the problems of its use is long-term treatment with phospholipase. Ultrasound treatment is the method of mass exchange, physicochemical and biochemical processes intensification.

The objective of this work was to study the ultrasound effect on the efficiency of enzymatic degumming and the physicochemical parameters of sunflower oil.

Enzymatic preparations of Novozyme (Denmark) Lecitase® Ultra and new preparations with phospholipase activity, in particular, Quara® Boost (phosphoinositol phospholipase C and phospholipase C) and Quara Low P (phospholipase A1) were used for enzymatic degumming of sunflower oil. Ultrasound treatment was carried out in an ultrasound device MEDITON (Ukraine) with a frequency of 22 kHz for 5, 8, and 11 minutes. The content of phosphorus-containing compounds in the oil, acid number, and peroxide number were determined by standard methods. The antioxidant activity of the oil was determined by the quenching rate of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radicals.

It was established that under the influence of ultrasound, the yield of oil after enzymatic degumming increased from 0.2 to 0.7% compared to control samples (without ultrasound). At the same time, the duration of degumming was reduced from 60 minutes (in the control) to 8—11 min under using ultrasonic treatment. The phospholipids content in the oil was halved compared to the control due to ultrasound treatment and was 0.03—0.04%. A slight increase in the acid value and a higher content of peroxides in the degummed oil using ultrasonic treatment was established. The antioxidant capacity of such oil samples also decreased. Under the effect of the Quara Low P, the oil oxidative stability was the highest.

Thus, the use of ultrasound treatment for enzymatic degumming of sunflower oil significantly accelerates this process. The maximum yield of degummed oil was obtained using the Quara Boost and 11-minute ultrasound treatment. The residual content of phospholipids in degummed oil samples did not differ significantly.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-13

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ДЕГУМІНГУ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЮ ОБРОБКОЮ

Т. Т. Носенко, Д. О. Жупанова

Національний університет харчових технологій

Ензимне дегумування рослинних олій усе більш широко використовується для вилучення фосфоліпідів з рослинних олій. Одна з проблем його застосування — тривала обробка фосфоліпазними препаратами. Одним із методів інтенсифікації масообмінних, фізико-хімічних і біохімічних процесів є ультразвукова обробка.

У статті досліджено вплив ультразвуку на ефективність ензимного дегумування соняшникової олії та її впливу на фізико-хімічні показники олії. Для ензимного дегумування соняшникової олії були використані ферментні препарати компанії Novozyme (Данія) Lecitase® Ultra та нові препарати із фосфоліпазною активністю, зокрема Quara® Boost (фосфоінозитол фосфоліпаза С та фосфоліпаза С) та Quara Low P (фосфоліпаза А1). Ультразвукову обробку здійснювали в ультразвуковому апараті МЕДІТОН (Україна) із частотою 22 кГц протягом 5, 8 та 11 хвилин. Вміст фосфоровмісних сполук в олії, кислотне число та пероксидне число визначали стандартними методами. Антиоксидантну активність олії визначали за швидкістю гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH).

Встановлено, що під дією ультразвуку вихід олії після ензимного дегуміну підвищувався від 0,2 до 0,7% порівняно з контрольними зразками (без використання ультразвуку). При цьому тривалість дегумування скоротилась від 60 хв (у контролі) до 8—11 хв при використанні ультразвукової обробки. Вміст фосфоліпідів в олії зменшувався вдвічі порівняно з контролем унаслідок ультразвукової обробки і становив 0,03—0,04%. Встановлено незначне підвищення значення кислотного числа та більш високий вміст пероксидів у дегумованій олії з використанням ультразвукової обробки. Антиоксидантна здатність таких зразків олії також зменшувалась. За використання препарату Quara Low P окисна стабільність олії була найвищою.

Отже, використання ультразвукової обробки для ферментативного дегуміну соняшникової олії суттєво прискорює процес. Максимальний вихід гідратованої олії було одержано за використання препарату Quara Boost та 11 хв дії ультразвуку. Залишковий вміст фосфоліпідів у зразках гідратованої олії суттєво не відрізнявся. Перспективним способом удосконалення ензимного дегуміну є використання нових ферментних препаратів Quara Boost та Quara Low P та одночасної ультразвукової обробки.

**Ключові слова:** ультразвукова обробка, ензимний дегуміг, фосфоліпід, соняшникова олія.

**Постановка проблеми** У технологіях рафінування рослинних олій використовується низка фізико-хімічних процесів. Зокрема, дегумування рослинних олій,

метою якого є вилучення з олії так званих «клеючих» речовин, передусім фосфоліпідів та інших полярних сполук. Традиційно для дегумування рослинних олій використовують обробку водою (водна гідратація фосфоліпідів) та розчинами кислоти. В останньому випадку з олії вилучаються групи фосфоліпідів, які не піддаються гідратації водою.

Крім хімічного дегумування рослинних олій, була розроблена технологія ферментативного дегумування. Ферментативне дегумування рослинних олій вперше було запропоновано компанією Lurgi (Aalrust та ін., 1992). Цей метод дає змогу перетворювати негідратовані фосфоліпіди в гідратовані, збільшуючи вихід олії та зменшуючи застосування реагентів, утворення відходів, споживання енергії та загальні витрати порівняно з традиційним дегумуванням (Loren, Dayton, & Galhardo, 2014), а також забезпечує низький вміст фосфоліпідів в обробленій олії.

Для ферментативного дегумування використовують такі ферменти, як фосфоліпаза А (PLA), фосфоліпаза С (PLC) і суміші фосфоліпази С і А (PLC/PLA) (Dijkstra, 2010). Фосфоліпази типу А гідролізують фосфоліпіди з утворенням лізофосфоліпідів і вільних жирних кислот (Heinze et al., 2013). Фосфоліпаза А1 (PLA1) і фосфоліпаза А2 (PLA2) видаляють жирну кислоту з позицій 1 і 2 відповідно щодо гліцерину (Guiotto et al., 2015). Фосфоліпази типу С гідролізують фосфоліпіди в діацилгліцерин і фосфорні ефіри (Semproli et al., 2021).

На практиці широко використовують ферментний препарат Lecitase® Ultra із активністю фосфоліпази А1 — це мікробна ліпаза (Е.С.3.1.1.3) з *Thermomyces lanuginosus*/*Fusarium oxysporum*. Останнім часом на ринку ензимних препаратів з'явилися нові препарати з фосфоліпазною активністю, зокрема Novozyme Quara® Boost (фосфоїнозитол фосфоліпаза С та фосфоліпаза С) та Novozyme Quara Low P (фосфоліпаза А1).

Встановлено, що дегумування ріпакової олії ферментним препаратом Lecitase® Ultra протягом 5 год при 50 °С суттєво зменшувало вміст фосфору, залишковий вміст становив менше 10 мг/кг (Yang, Wang, & Yang, 2006). Подібні результати були отримані також у (Samraio та ін., 2015) під час ферментативної дегумування тієї самої олії за допомогою Lecitase Ultra®. Вміст фосфору в дегумованій олії становив менше 10 мг/кг при дозуванні ферменту 30 мг/кг і тривалості обробки 10—120 хв. Висока ефективність дегумування може бути досягнута вже після відносно короткої тривалості реакції.

Проте для деградації всіх фосфоліпідів і збільшення виходу олії необхідна тривалість 1—2 години. Одним із методів скорочення тривалості ензимної обробки олії під час дегумування може бути використання ультразвуку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** Використання ультразвуку останнім часом набуває широкого використання у різних галузях промисловості та вважається безпечним і м'яким методом обробки (Fashandi, Ghavami, Gharachorloo, & Abbasi, 2016). Коли ультразвук поширюється через будь-яке середовище, він викликає серію стиснень і розріджень. Такі тиски чергуються і викликають утворення бульбашок у рідкому середовищі. Цей процес утворення, розширення і колапс мікробульбашок у рідинах під дією ультразвуку відомий як «акустична кавітація». Кавітація має величезну потужність і використовується для інтенсифікації фізико-хімічної обробки, її часто використовують через простоту процесу та генерацію кавітаційних умов, необхідної інтенсивності, що придатні для різних

фізичних і хімічних перетворень (Issaoui, & Delgado, 2019; Wang, Cheng, Wang, Zhang, & Wang, 2021). Ультразвук застосовують для розробки м'яких і спеціалізованих процесів, для інтенсифікації обробки та гомогенізації, забезпечення безпечної обробки харчових продуктів. Така технологія може бути використана як для удосконалення існуючих процесів, так і для розробки нових (Chemat, 2016; Tingting Guo, 2021; Lamas, 2016).

Використання ультразвукової обробки останнім часом впроваджують у різних процесах харчової галузі (Bernardi та ін., 2021). Зокрема, і для дегумування таких рослинних олій, як соєва (More, Gogate, 2018), соняшникова (Mahmood, Ghavami, Gharachorloo, & Abbasi, 2016), ріпакова (Jiang, 2014), олії, збагаченої арахідоною кислотою (Guo, Wan, Huang, Wei, & Xiang, 2021).

Проте всі дослідження були проведені з різними ензимними препаратами, а тривалість дегумування все ще залишалась високою — 60—120 хвилин, тому дослідження оптимізації процесу ультразвукового дегумування олії є актуальним.

**Мета дослідження** полягала в інтенсифікації ензимного дегумування соняшникової олії ультразвуковою обробкою та дослідженні її впливу на фізико-хімічні показники олії.

**Матеріали і методи.** Використано нерафіновану соняшкову олію місцевого виробництва. Ферментні препарати Lecitase<sup>®</sup> Ultra, Quara<sup>®</sup> Low P та Quara<sup>®</sup> Boost були одержані від компанії Novozymes (Данія). Препарат Lecitase<sup>®</sup> Ultra є генетично модифікованою фосфоліпазою з використанням мікроорганізмів *Thermomyces lanuginose* та *Fusarium oxysporum* (Virgen-Ortíz та ін., 2019). Термостабільний і кислотостійкий препарат Quara<sup>®</sup> Low P (Novozymes) з активністю фосфоліпази A1, вилученої з *Talaromyces leycettanus*, має часткову активність також щодо естерного зв'язку у положенні sn-2. Препарат Quara<sup>®</sup> Boost має активність фосфоїнозитол фосфоліпази C та фосфоліпази C і отриманий ферментацією генетично модифікованого мікроорганізму *Vacillus licheniformis*.

**Проведення дегумування нерафінованої соняшникової олії.** 100 г соняшникової олії у конічній колбі об'ємом 250 см<sup>3</sup> нагрівали приблизно до 60 °С з подальшим додаванням 5% 0,5-відсоткового розчину ферменту. Суміш ретельно перемішували протягом 1 хв і витримували за температури 60 °С протягом 1 год при повільному перемішуванні. При використанні ультразвукової обробки зразки олії обробляли в ультразвуковому апараті МЕДІТОН (Україна) з частотою 22 кГц протягом 5, 8 та 11 хвилин. Після дегумування ферменти інактивували за температури 80 °С протягом 10 хвилин. Після цього реакційну суміш витримували 30 хв при кімнатній температурі. 10 см<sup>3</sup> реакційної суміші поміщали в градуйовану центрифужну пробірку і фосфоліпідний осад відокремлювали від олії центрифугуванням при 2000 об/хв протягом 10 хвилин.

**Вихід олії** визначали після закінчення обробки олії, гідратовану олію відстоювали протягом 30 хв за температури гідратації і відділяли від осаду фосфатидної емульсії центрифугуванням протягом 10 хв зі швидкістю 1500—2000 об/хв. Вихід олії (в об'ємних %) розраховували за формулою:

$$B = \frac{(a - b)}{a} \cdot 100\% \quad (1)$$

де  $a$  — об'єм дослідної проби см<sup>3</sup>;  $b$  — об'єм осаду після дегумінгу, см<sup>3</sup>.

*Визначення фізико-хімічних показників соняшникової олії.* Вміст вільних жирних кислот визначали відповідно до ДСТУ 4350:2004 Олії. Методи визначання кислотного числа. Вміст пероксидних сполук визначали відповідно до ДСТУ ISO 3960:2019 Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення пероксидного числа.

*Визначення вмісту фосфоровмісних сполук.* Для оцінки ступеня гідратації визначали вміст фосфоліпідів в олії до дегумування і після нього. Вміст фосфоровмісних сполук визначали після озолення зразків олії фотометричним методом за вмістом неорганічного фосфору. Для цього до наважки олії масою 0,7 г у фарфоровому тиглі додавали 0,75 г оксиду магнію. Суміш нагрівали протягом 10 хв у сушильній шафі за температури 110 °С та обвуглювали на електричній плитці. Залишок озоловали у муфельній печі за температури 800 °С. До охолодженої золи додавали 10—12 см<sup>3</sup> дистильованої води та 20 см<sup>3</sup> розчину сірчаної кислоти концентрацією 2 моль·екв/дм<sup>3</sup> і нагрівали до повного розчинення оксиду магнію, розчини переносили у мірні колби об'ємом 100 см<sup>3</sup>. До розчинів додавали 20 см<sup>3</sup> молібденового реагенту і нагрівали протягом 30 хв на киплячій водяній бані. Після охолодження до кімнатної температури об'єм колб доводили дистильованою водою до мітки. Одночасно готували контрольну пробу. Для цього таку ж наважку оксиду магнію розчиняли в 20 см<sup>3</sup> розчину сірчаної кислоти концентрацією 2 моль·екв/дм<sup>3</sup>, розчин переносили в мірну колбу ємкістю 100 см<sup>3</sup> та проводили аналогічну реакцію із молібденовим реагентом.

Вимірювали оптичну густину аналізованих розчинів відносно контрольного розчину на фотоколориметрі КФК-3. Масову частку фосфору (мкг/см<sup>3</sup>) в досліджуваних розчинах визначали за градуювальним графіком, побудованим і використанням стандартних розчинів КН<sub>2</sub>РО<sub>4</sub> концентрацією від 0,05 до 5,0 мкг/см<sup>3</sup>.

Вміст фосфору (у %) у зразку розраховували за формулою:

$$P = 0,01 \frac{d}{m}, \quad (2)$$

де  $d$  — масова частка фосфору в розчині, визначена за градуювальним графіком, мкг/см<sup>3</sup>;  $m$  — маса зразка, г.

Масову частку фосфоровмісних речовин ФОЛ (%) в перерахунку на стеаролеолецитин розраховували за формулою:

$$ФОЛ = 25,44 \cdot P, \quad (3)$$

де 25,44 — коефіцієнт перерахунку масової частки фосфору на стеаролеолецитин.

*Визначення антиоксидантної активності олії методом гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH).* Визначення антиоксидантної активності олії проводили за реакцією гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH) (Носенко, Музика, Циганкова, Левчук, & Маринченко, 2019). Для реакції використовували розчин 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу концентрацією 3 мг/100 мл в етилацетаті, який мав значення оптичної густини на довжині хвилі 520 нм в межах 0,7—0,9.

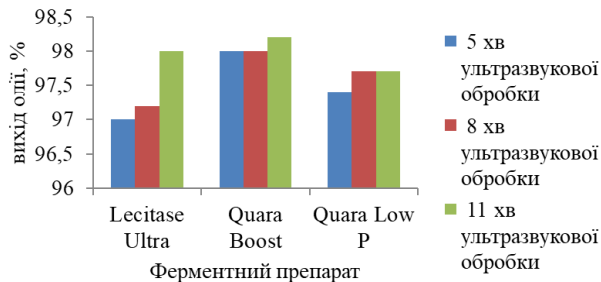
Для приготування реакційної суміші до 100 мг олії додавали розчин DPPH в етилацетаті, ретельно перемішували та визначали початкове значення оптичної густини реакційної суміші на довжині хвилі 520 нм ( $D_0$ ). Реакційну суміш витримували без доступу світла протягом 30 хв та визначали оптичну густину на 520 нм

(D<sub>1</sub>). Антиоксидантну активність (A) розраховували за зміною оптичної густини протягом 30 хв:

$$A = \left[ 1 - \frac{D_1}{D_0} \right] \cdot 100. \quad (4)$$

*Статистична обробка результатів.* Всі дослідження проводили у трьох повторностях, результати виражали як середнє арифметичне ± стандартне відхилення, валідність результатів розраховували при рівні достовірності α=0.95.

**Викладення основних результатів дослідження.** Дослідження впливу ультразвукової обробки на процес ензимного дегумінгу соняшникової олії в присутності трьох досліджуваних ферментних препаратів підтвердили, що майже в усіх випадках вихід гідратованої олії суттєво підвищується після перших 5 хв ультразвукової обробки (рис. 1). Лише в присутності ферментного препарату Lecitase Ultra відбувалось суттєве збільшення виходу гідратованої олії при збільшенні тривалості ультразвукової обробки від 5 до 11 хвилин.



**Рис. 1.** Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу на вихід соняшникової гідратованої олії

У попередніх наших дослідженнях було встановлено, що вихід гідратованої олії при використанні водного дегумінгу становив 96,5%. Під дією ферментних препаратів вихід дегумованої олії підвищувався до 97% (в присутності Quara Low P), 97,5% (в присутності Lecitase Ultra) і 98% (в присутності Quara Boost). Одержані дані щодо використання ультразвуку свідчать, що під дією такої обробки вихід олії після ензимного дегумінгу підвищувався від 0,2 до 0,7% порівняно з контрольними зразками (без використання ультразвуку). При цьому тривалість дегумування скоротилась від 60 хв (у контролі) до 8—11 хв при використанні ультразвукової обробки, тобто приблизно у 6 разів. Одержані дані суттєво відрізняються від тривалості ультразвукової обробки для дегумування олії у праці (Guo, Wan, Huang, Wei, & Xiang, 2021), яка становила 120 хвилин.

Важливим показником ефективності дегумування рослинних олій є залишковий вміст фосфоровмісних сполук в олії після дегумування. Одержані дані свідчать, що вміст фосфоліпідів в олії після ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу коливався від 0,03 до 0,04%, що суттєво нижче значень, які досягались після ферментативної обробки олії без використання ультразвуку (0,07—0,08%) (рис. 2). При цьому найбільш високий ступінь вилучення фосфоровмісних сполук

спостерігався при використанні ферментного препарату Quara Boost та ультразвукової обробки протягом 11 хвилин.

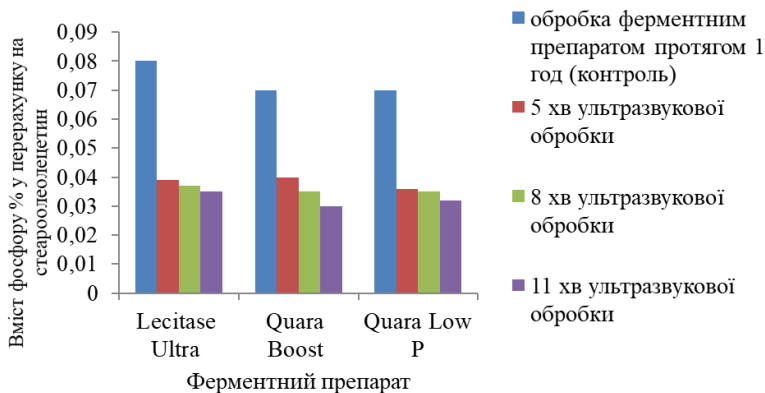


Рис. 2. Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу на залишковий вміст фосфатидів у соняшниковій гідратованій олії

Значення кислотного числа в зразках олії після ферментативної гідратації з використанням ультразвуку коливалось в межах від 4 до 6 мг КОН/г, вихідна олія мала значення цього показника 5,6 мг КОН/г (рис. 3). Одержані дані засвідчили незначне підвищення значення кислотного числа дегумованої олії з використанням ультразвукової обробки. Найбільш суттєве зростання вмісту вільних жирних кислот в олії відбувалось у присутності ферментних препаратів Lecitase Ultra та Quara Low, які мають активність фосфоліпази А1. Зростання цього показника під дією ультразвукової обробки в присутності фосфоліпаз А1 порівняно з контрольними зразками олії, необробленими ультразвуком, очевидно пояснюється інтенсифікацією реакції гідролізу естерних зв'язків фосфоліпідів в умовах такої обробки.

Вміст пероксидних сполук в олії після ферментативного дегумінгу з ультразвуковою обробкою зростав порівняно зі зразками олії після ферментативного дегумінгу (контрольні зразки) (рис. 4). Дегумування олії препаратом Lecitase Ultra супроводжувалось зменшенням значення пероксидного числа від 4,2 у вихідній олії до 2,7 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/kg. Обробка ультразвуком олії з цим ферментним препаратом суттєво збільшувала значення пероксидного числа гідратованої олії — до 5,5—5,6 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/kg. Використання для дегумінгу препарату Quara Boost з одночасною обробкою ультразвуком призводило до зростання пероксидного числа до 3,9—4,5 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/kg, без ультразвуку пероксидне число гідратованої олії становило 2,5 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/kg. Інтенсифікація ультразвуком процесу дегумування олії препаратом Quara Low P спричиняла найменш суттєве зростання вмісту пероксидів в олії порівняно з контролем. Варто зазначити, що в усіх зразках гідратованої олії значення пероксидного числа відповідало вимогам до гідратованої олії відповідно до ДСТУ 4492:2017 «Олія соняшникова».

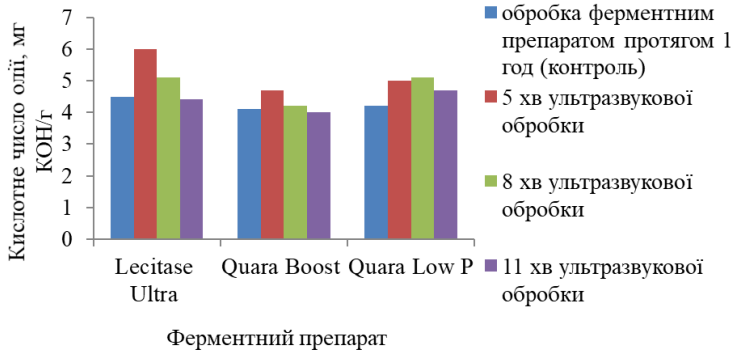


Рис. 3. Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегуміну на вміст вільних жирних кислот у соняшниковій гідратованій олії

Зростання вмісту первинних продуктів окиснення у гідратованій соняшниковій олії з використанням ультразвуку може пояснюватись передусім підвищенням температури олії під дією ультразвуку, а також прискоренням швидкості хімічних реакцій, зокрема і пероксидного окиснення олії під дією ультразвуку.

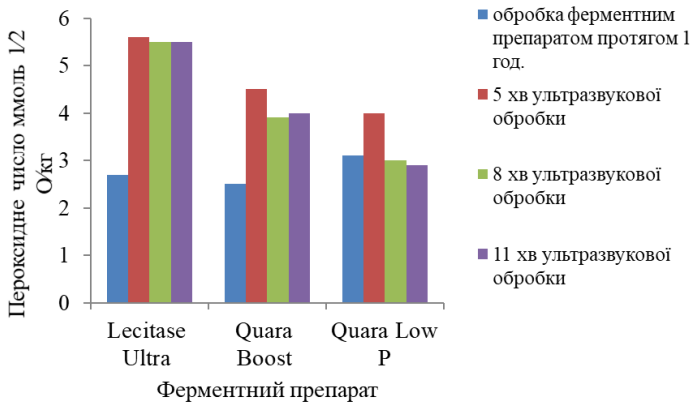
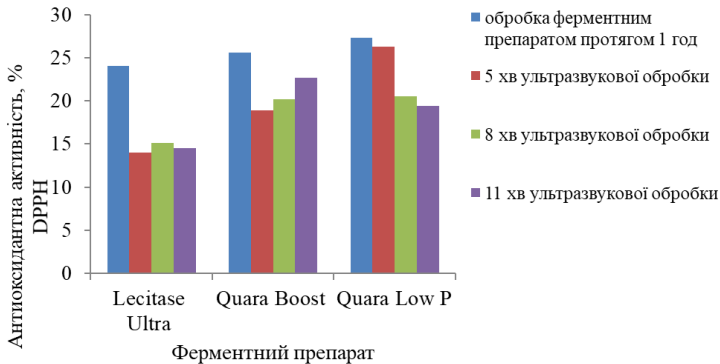


Рис. 4. Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегуміну на вміст пероксидів у соняшниковій гідратованій олії

Як відомо, швидкість пероксидного окиснення олій залежить від низки чинників, передусім від природи жирних кислот, що входять до їх складу, а також від концентрації антиоксидантів в олії (Demidova, Nosenko, Bahmach, Shemanska, & Molchenko, 2021).

Дослідження антиоксидантної активності зразків олії після ферментативної гідратації з використанням ультразвуку показали, що вона була нижчою, ніж у зразках олії, оброблених еквівалентною кількістю ферменту без ультразвукової обробки, та вихідною олією (рис. 5). Швидкість гасіння вільних радикалів DPPH була вищою у зразках гідратованої олії з ферментними препаратами Quara Boost та Quara Low P з обробкою ультразвуком. Під дією ферментного препарату Lecitase Ultra та ультразвуку антиоксидантна активність олії значно зменшилась.

При цьому антиоксидантна активність в зразках олії після дегумування з різними ферментними препаратами протягом 1 год суттєво не відрізнялась. Спостерігалась кореляція між значенням пероксидного числа олії та антиоксидантною активністю — у більшості зразків олії з нижчими значеннями пероксидного числа антиоксидантна активність у реакції із DPPH була вищою. Причиною зниження активності антиоксидантів після ультразвукової обробки може бути їх часткова інактивація внаслідок нагрівання ультразвуком.



**Рис. 5.** Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу на антиоксидантну активність соняшникової гідратованої олії

## Висновки

Одержані результати свідчать, що використання ультразвукової обробки для ферментативного дегумінгу соняшникової олії суттєво прискорює процес. Це підтверджено дещо вищим виходом гідратованої олії після 5—11 хв обробки та приблизно вдвічі нижчим залишковим вмістом фосфоліпідів у ній. Максимальний вихід гідратованої олії було одержано за використання препарату Quara Boost та 11 хв дії ультразвуку. Залишковий вміст фосфоліпідів у зразках гідратованої олії суттєво не відрізнявся. За використання препарату Quara Boost та Quara Low P вміст вільних жирних кислот і пероксидних сполук у гідратованій олії були нижчими, а її антиоксидантна активність — вищою.

Отже, перспективним є використання нових ферментних препаратів Quara Boost та Quara Low P та одночасної ультразвукової обробки для інтенсифікації дегумування соняшникової олії.

## Подяка

Дослідження виконано за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України українсько-австрійського проекту «Удосконалення ензимного дегумінгу соняшникової олії». Державний реєстраційний номер: 0123U103866

## Література

Aalrust, E., Beyer, W., Ottofrickestein, H., Penk, G., Plainer, H., Rainer, R. (1992), An enzymatic method for reducing the amount of phosphorus-containing components in vegetable and animal oils. European patent 0513709.

Bernardi, S., Lupatini-Menegotto, A., Kalschne, D., Flores, E., Bittencourt, P., Colla, E., Canan, C. (2021). Ultrasound: a suitable technology to improve the extraction and techno-functional properties of vegetable food proteins. *Plant Food. Hum. Nutr.*, 76(1), 1—11. DOI: 10.1007/s11130-021-00884-w.

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Vian M. A. (2016). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications: A Review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34 (1), 540—560. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.035.

Demidova, A., Nosenko, T., Bahmach, V., Shemanska, E., Molchenko, S. (2021), Study on anti-oxidants extraction from oak bark and their use for oxidation stability of sunflower oil. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), pp.552—563. DOI: 10.24263/2304-974X-2021-10-3-9.

Dijkstra, A. J. (2010). Enzymatic degumming. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(11), 1178—1189, doi.org/10.1002/ejlt.201000320.

Guo, T., Wan, C., Huang, F., Wei, C., Xiang X. (2021). Process optimization and characterization of arachidonic acid oil degumming using ultrasound-assisted enzymatic method. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78(7) 1—8. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105720.

Jiang, X., Ming, C., Jin, Q., Ang, X., Jin, Q., Wand, X. (2014). The effect of ultrasound on enzymatic degumming process of rapeseed oil by the use of phospholipase A1. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 142—148 DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.07.018.

Loren, C., Dayton, G., Galhardo, F. (2014). Enzymatic degumming, In: *Green Vegetable Oil Processing*. Bunge Global Innovation, White Plains, New York, USA, pp. 107—145.

Mahmood, H., Ghavami, M., Gharachorloo, M., Abbasi, R. (2016). Using of Ultrasonic in Degumming of Soybean and Sunflower Seed Oils: Comparison with the Conventional Degumming *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), 1—7. DOI: 10.1111/jfpp.12799.

More N., Gogate P. (2018). Ultrasound assisted enzymatic degumming of crude soybean oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 42(4), 805—813. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.12.031.

Sampaio, K. A., Zyaykina, N., Wozniak, B., Tsukamoto, J., De Greyt, W., Stevens, C. V. (2015). Enzymatic degumming: Degumming efficiency versus yield increase. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(1), 81—86. doi.org/10.1002/ejlt.201400218.

Virgen-Ortíz, Jose J., dos Santos, José C. S., Ortiz, C., Berenguer-Murcia, Á., Barbosa, O., Rodrigues, R. C., Fernandez-Lafuente, R. (2019). Lecitase ultra: A phospholipase with great potential in biocatalysis. *Molecular Catalysis*, 473(1), 10—16 DOI: 10.1016/j.mcat.2019.110405.

Yang, B., Wang, Y., Yang, J. (2006). Optimization of the enzymatic degumming process for rapeseed oil. *Journal of American Oil Chemistry Society*, 83(7), 653—658, doi.org/10.1007/s11746-006-1253-4.

## THE COMBINED RESOURCE-EFFECTIVE TECHNOLOGY OF FROZEN BERRY HALF PRODUCTS

G. Simakhina, O. Kochubey-Lytvynenko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Preservation  
Artificial cold  
Crystal making  
Cryoprotectors  
Defrosting  
Antioxidants*

---

**Article history:**

Received 09.10.2023  
Received in revised form  
23.10.2023  
Accepted 09.11.2023

---

**Corresponding author:**

G. Sinakhina

**E-mail:**

npuht@ukr.net

**Citation:** Г. О. Сімахіна, О. В. Кочубей-Литвиненко (2023). Комбінована ресурсоефективна технологія заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 143—156.  
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-14

---

**ABSTRACT**

It is evident that all the live entities in current malignant environmental conditions (Covid-19 pandemic, military state) are exposed to constant oxidant stress due to the activity of free radicals, reactive forms of oxygen, prooxidants and other harmful factors. Therefore, the role of fruit and berry raw materials as the sources of antioxidant substances (tocopherols, ascorbic acid, phenol substances, carotenoids, enzymes, trace elements, aromatic amines, etc.) is gaining more importance.

As a matter of fact, seasonality appears to be the conceptual disadvantage of fruit and berry raw materials. Hence the creation of reliable natural antioxidant protection for human body during the whole year is possible, providing that the raw is effectively preserved with maximal retention of all the valuable components of natural origin in the final products.

Unfortunately, it is the antioxidant substances (primarily L-ascorbic acid) that undergo the utmost destruction, especially when it comes to berries with tender texture, like blueberries, raspberries or strawberries, which gets ruined in defrosting: in turn, it can result in the loss of cellular juice with antioxidants dissolved in it. Therefore, this work is aimed at improvement of the method to freeze fruit and berry cultures, which is the topical task oriented at the elaboration of multi-variant technology of high-quality frozen half products with proven expedience of selecting the certain freezing method, regarding the industrial conditions.

The objectives of this article are to design the universal technological scheme to obtain the frozen fruit and berry products with various modifications and variant of using the artificial cold, which would be based on theoretical statements and experimental results, in order to produce the foods complying with the main principles of the 21<sup>st</sup> century nutrition — quality, safety, and effectiveness.

## КОМБІНОВАНА РЕСУРСОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАМОРОЖЕНИХ ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

Г. О. Сімахіна, О. В. Кочубей-Литвиненко

Національний університет харчових технологій

*У нинішніх несприятливих умовах довкілля — роки пандемії Covid-19, воєнний стан — живі організми перебувають під постійним оксидантним стресом унаслідок дії вільних радикалів, реакційноздатних форм сполук кисню і прооксидантів, інших шкідливих чинників. І тому особливо важливою є роль плодово-ягідної сировини як джерела сполук антиоксидантної дії — токоферолів, аскорбінової кислоти, фенольних сполук, каротиноїдів, ферментів, мікроелементів, ароматичних амінів тощо.*

*Основний недолік плодово-ягідної сировини — її сезонність. І тому створення надійного природного антиоксидантного захисту організму людини впродовж року можливе лише шляхом її ефективного консервування з максимальним збереженням у готових продуктах усіх цінних компонентів, закладених у сировині природою.*

*На жаль, при традиційних технологіях заморожування саме антиоксидантні сполуки, передусім L-аскорбінова кислота, зазнають найбільших утрат, особливо якщо йдеться про ягоди з ніжною текстурою поверхні (чорниці, малина, полуниці), яка на етапі дефростації руйнується, внаслідок чого втрачається клітинний сік із розчиненими в ньому антиоксидантами. Тому дослідження спрямовано на вдосконалення способу заморожування плодово-ягідних культур, що є актуальним завданням, орієнтованим на розроблення багатоваріантної технології високоякісних заморожених напівфабрикатів з обґрунтованою доцільністю вибору певного способу заморожування залежно від конкретних умов.*

*На основі теоретичних умовиводів і результатів експериментальних досліджень розроблено універсальну технологічну схему отримання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів з різними модифікаціями та варіантами застосування штучного холоду й отриманням продукції, яка відповідає головним принципам харчування XXI століття — якість, безпека, ефективність.*

**Ключові слова:** консервування, штучний холод, кристалоутворення, кріопротектори, дефростація, антиоксиданти.

**Постановка проблеми.** Розшифрування у 2003—2005 рр. генома людини допомогло розкрити багато таємниць її природи. Зокрема, з'ясувався взаємозв'язок між набором генів і харчовими уподобаннями людини, на основі чого встановлено, що саме нераціональне харчування є одним із чинників «хвороб цивілізації», прискореного старіння, зменшення середньої тривалості життя. І тому сьогодні продукція харчової промисловості, особливо її принципово новий напрям — здорове харчування, перетворюється на природний захист організму від несприятливих зовнішніх та внутрішніх чинників і є важливим складником здоров'я людини.

ВООЗ наголошує на тому, що в забезпеченні населення країни продукцією здорового харчування частка плодоовочевої сировини в раціонах має становити не менш ніж 800 г на добу. Це обґрунтовано високим вмістом у ній вітамінів, мінеральних сполук, білків, амінокислот, харчових волокон.

Потрапляючи в організм людини, вони контролюють допустиму концентрацію вільних радикалів, сповільнюють швидкість окислення харчових компонентів і біологічних структур організму шляхом утворення хелатних комплексів з прооксидантними металами, інактивують вільні радикали, запобігають каталізові ліпідів тощо.

Проблема консервування сільськогосподарської сировини з використанням штучного холоду має давню історію. Загалом, холодильні технології сформувались у 1928 р. після відкриття нових холодоагентів — фреонів. Уже наступного року англійський учений Кларенс Бердзай (Bellis, 2019) почав розроблення готових заморожених страв, і саме він запропонував ідею швидкого заморожування як найкращого способу оброблення сировини і продуктів.

Світовий досвід показує, що подальший інноваційний розвиток харчової промисловості неможливий без використання штучного холоду, а експерти ЮНЕСКО назвали третє тисячоліття «епохою холодних технологій».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пошукові інноваційних рішень шляхів оптимізації низькотемпературних технологічних процесів заморожування і зберігання плодово-ягідної сировини присвячено праці багатьох вітчизняних і зарубіжних дослідників: Вікторії Погарської та Раїси Павлюк (Павлюк, & Погарська, 2013), Світлани Белінської (Белінська, & Клячин, 2015), Ніни Осокіної (Осокіна, & Заморська, 2017), Наталії Орлової (Орлова, & Белінська, 2005), Ірини Заморської (Заморська, 2018), Д. М. Одарченка (Одарченко, Кудряшов, & Бабіч, 2014), О. Сміта (Smith, 1991), Р. Сомоды (Somogyi, 1992) та інших. Проте багато питань ще потребують вирішення.

Попит на заморожену плодово-ягідну та овочеву продукцію в усьому світі зростає, її товарообіг щорічно збільшується майже на 4% (Frozen). Разом з тим, в Україні поки що випускається недостатньо власної замороженої рослинної продукції (Олійник, Тарасюк, & Макаренко, 2019), особливо плодово-ягідної, а та, що надходить у торговельну мережу, має низьку якість у зв'язку з недосконалістю традиційних технологій заморожування і зберігання напівфабрикатів. Біооб'єкти зазнають значних кріоушкоджень під час заморожування, тому при їх дефростації втрачається клітинний сік і разом із ним — біологічно активні речовини (вітаміни, мінеральні елементи, мінорні сполуки), які, власне, і становлять основну цінність плодово-ягідної сировини (Сімахіна, Камінська, & Мартиненко, 2018).

Плоди і ягоди — продукція сезонного характеру і низької стійкості при зберіганні у зв'язку з великою концентрацією води у їхньому складі (80—90%), і це зумовлює, як наслідок, небажані інтенсивні біохімічні процеси (Осокіна, & Заморська, 2017). А якщо враховувати втрати сировини при збиранні, транспортуванні, переробленні, то, за статистичними даними, до столу українського споживача доходить лише 30—40% вирощеної продукції, тоді як у провідних країнах світу цей показник перевищує 80%. Тому для скорочення втрат сировини і її цінних біокомпонентів необхідно розробляти і реалізувати нові, значно досконаліші

технології перероблення й зберігання сільськогосподарської продукції, в тому числі методами кріопротекції, що і визначає актуальність цього напрямку.

Аналіз сучасних наукових праць за темою дослідження свідчить про те, що найбільш глибоко механізми кріоушкоджень клітин біооб'єктів і способи їх захисту вивчено у кріобіології (Wagner, Martowicz, Livesey, & Connor, 2002) — порівняно молодій галузі загальної біології. Фундаментальні та прикладні дослідження, виконані у 50—70-х рр. XX ст. в кріобіологічних центрах США, Англії, Франції, Японії, розвинуто у працях Р. Керроу (Carrow, & Macgrath, 1985) та провідних українських учених А. Білоуса, В. Грищенка, М. Пушкаря та Є. Гордієнка (Орлова & Белінська, 2005; Белоус & Грищенко, 1994). Загальний висновок учених такий: розвиток руйнівного поза- та внутрішньоклітинного кристалотворення істотно гальмується при заморожуванні клітин і тканин, якщо воно відбувається під захистом різних кріопротекторів, які сприяють модифікації структури рідкої фази і характерові її кристалотворення.

Для всіх біологічних об'єктів, у тому числі для плодово-ягідної сировини, існує одна закономірність — при охолодженні до 0°C і нижче під впливом від'ємних температур клітини можуть руйнуватись. У цьому явищі варто розрізняти як ушкодження, пов'язані з комплексом процесів у мембрані і клітині при розвитку температурного шоку, так і руйнування клітин, пов'язані з дією від'ємних температур. В останньому випадку це відбувається, коли кристалізується поза- і внутрішньоклітинний розчин, а клітини руйнуються утвореними кристалами. І якщо заморожені продукти міститимуть багато зруйнованих клітин, то при дефростації втрачається клітинний сік, якість продукту та біологічна цінність погіршуються.

Провідні вітчизняні кріобіологи Є. Гордієнко та інші змогли загальмувати розвиток утворення кристалів всередині клітин, заморожуючи біооб'єкти під захистом різних сполук, названих кріопротекторами, які сприяють модифікації структури рідкої фази і характеру її кристалотворення. Саме цей спосіб ми розглядаємо як найбільш ефективний для вдосконалення технології заморожування плодово-ягідної сировини, оскільки незалежно від механізму руйнування клітин їхньої цілісності можна досягти за допомогою кріопротекторів.

За літературними даними, найбільш дослідженими є такі кріопротектори (Гордієнко, & Товстяк, 2009; Leibo, Farrant ... & Smith, 1999): етанол, гліцерин, сорбіт, глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза, диметилсульфоксид (ДМСО), гліцин, лимонна кислота, декстрин, гідроксипроцеллоза (ГПК), желатин, хлористий магній, сульфат натрію, цитрати натрію і калію. Також ефективним є використання комбінації кріопротекторів із числа перерахованих.

**Мета статті:** на основі теоретичних умовиводів і результатів експериментальних досліджень розробити універсальну технологічну схему отримання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів з різними модифікаціями та варіантами застосування штучного холоду й отримання продукції, яка відповідає головним принципам харчування XXI століття — якість, безпека, ефективність.

**Матеріали і методи.** Для дослідження використали плодів та ягідні культури з максимальним природним вмістом найбільш ефективних сполук-антиоксидантів, виявлених за результатами попередніх досліджень (Сімахіна, 2021): ягоди смородини чорної, малини та аронії чорноплідної як джерела біофлавоноїдів та L-

аскорбінової кислоти; ягоди ожини, чорниці та порічки червоної як максимальне джерело каротиноїдів. Усі ці культури містять також у значних кількостях мінеральні елементи в органічній формі. Особливу увагу у дослідженнях приділено групі поліфенольних сполук у складі біофлавоноїдів, катехинів, антоціанів, флаванолів, які здатні створити надійний опір ушкоджуючій дії вільних радикалів та їхній агресивній атаці на життєво важливі мішені організму людини.

Дослідження біохімічного складу сировини проводили загальнодоступними методами: вміст L-аскорбінової кислоти з використанням 2,6-дихлорфеноліндофеноляту натрію; вміст каротиноїдів визначали фотометричним методом, який базується на екстрагуванні каротину за допомогою органічних розчинників, і вимірювали оптичну густину розчину на спектрофотометрі в кюветях з відстанню між робочими гранями 10 мм за довжини хвилі 450 нм за ДСТУ 4305:2004.

Загальний вміст поліфенольних сполук визначали методом спектрофотометрії з реактивом Фоліна-Чокальтеу на спектрофотометрі за ДСТУ 4373:2005. Кількісний вміст суми флавоноїдів визначали методом спектрофотометрії в перерахунку на рутин (лютеолін).

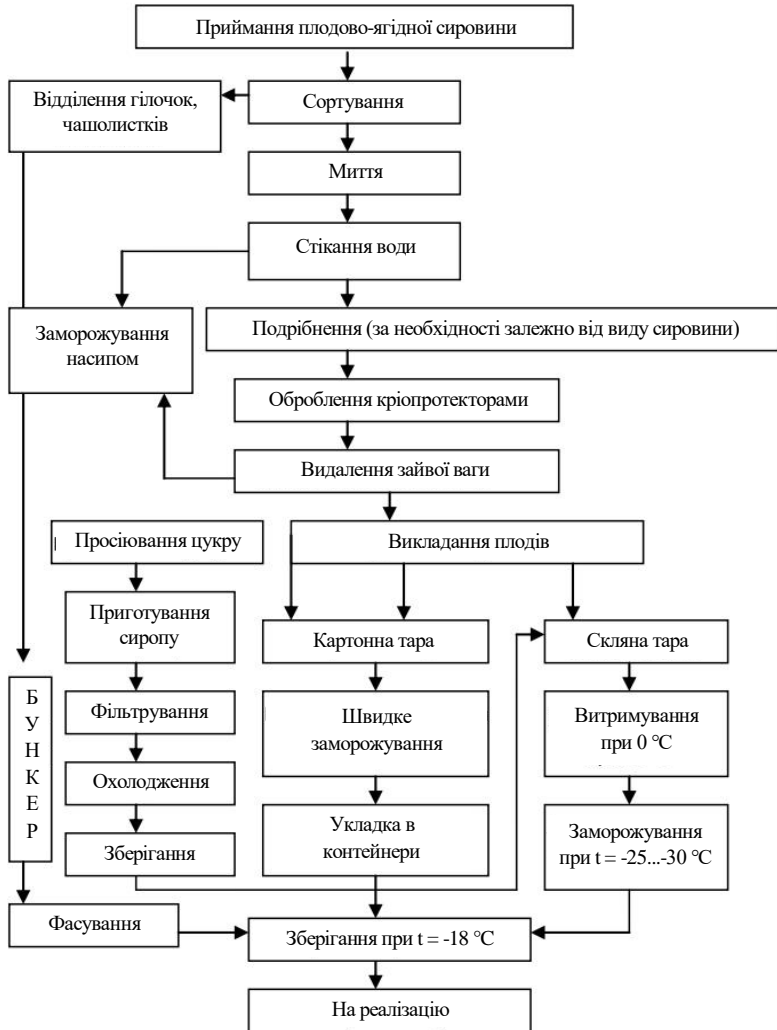
**Викладення основних результатів дослідження.** Організація і розроблення універсальної схеми заморожування плодово-ягідних напівфабрикатів потребує технічної підготовки виробництва як складного процесу, внаслідок якого варіанти запланованого виробництва мають поєднуватись у реальні об'єкти з інноваційним наповненням, а однією з характерних ознак їхньої ресурсоефективності є гнучкість основних складників технології і можливість швидкого переходу з одного варіанта виробництва продукції на інший, залежно від конкретних умов, планування та економічного обґрунтування доцільності отримання того чи того виду замороженої продукції.

У статті запропоновано триваріантну технологічну схему заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів для промислових підприємств, підприємств середньої і малої потужності, крафтових виробництв:

**варіант 1** — найбільш простий, передбачає заморожування сировини після попередньої підготовки насипом на піддонах; **варіант 2** — заморожування плодів і ягід з використанням цукрових сиропів; **варіант 3** — найбільш досконалий, перспективний, інноваційний, передбачає поєднання штучного холоду з використанням методів криопротекції. Універсальна схема, яка поєднує всі три варіанти, зображена на рис. 1.

Кожен із цих варіантів має свої переваги і привабливі сторони, а тому знайде своїх прихильників серед виробників. На наступному етапі досліджень усі ці переваги буде обґрунтовано.

Зараз на українському ринку склалася парадоксальна ситуація: вітчизняна плодово-ягідна продукція поступається за якісними й органолептичними показниками імпортній, тоді як наша сировина вражає спектром корисних біокомпонентів. Ми довели це твердження, дослідивши окремі групи поліфенольних сполук у культивованих і дикорослих ягодах. Результати наведено в табл. 1.



**Рис. 1.** Триваріантна технологічна схема отримання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів: заморожування насипом на піддонах; заморожування з використанням цукрового сиропу; заморожування з використанням криопротекторів

*Таблиця 1.* Вміст різних груп поліфенольних сполук в плодах і ягодах, мг/100 г

Дослідні зразки	Біофлавоноїди	Катехіни	Антоціани	Флавоноли
Культурні сорти				
Малина	1285,0	386,0	540,8	345,0
Смородина чорна	1858,0	476,6	525,0	838,4
Порічка червона	1305,0	503,8	296,4	506,6

Дикорослі види				
Аронія чорноплідна	2466,0	397,0	1944,8	105,5
Чорниця	2143,0	263,3	1778,6	84,6
Ожина	2447,0	415,6	1875,5	136,4

Навіть короткий аналіз біохімічного складу компонентів об'єктів дослідження дає повне уявлення про їхню харчову та біологічну цінність. Наприклад, у Наказі МОЗ України №1073 від 2 вересня 2017 року «Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії» вперше виокремлено показник добової потреби в біофлавоноїдах, який становить 250 мг. А відповідно до даних табл. 1, кожен із досліджених видів ягід, особливо дикорослих, у 5—10 разів перевищує цю концентрацію. Тому завдання технологів полягає якраз у тому, щоб максимально зберегти при переробленні весь багатий комплекс сировини, її високі споживчі властивості шляхом розроблення нових і вдосконалення існуючих технологій заморожування, створити продукцію, що відповідає світовим стандартам, наповнити внутрішній ринок, орієнтуватись на експорт і поступово витіснити імпорتنі напівфабрикати.

Повертаючись до рис. 1, необхідно охарактеризувати кожен запропонований варіант отримання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів, окреслити їхню особливість, технологічність, економічне обґрунтування.

Оскільки йдеться про універсальну схему, то її складники мають бути взаємодоповнюючими, створювати органічно інтегроване ціле, зберігаючи при цьому автономність кожного окремого варіанта, специфіку його завдань, функцій і засобів досягнення кінцевої мети — отримання замороженої продукції високої якості.

У своїй сукупності кожна стадія варіантів технологічної схеми характеризує основний зміст комплексно-технічної підготовки виробництва, який виконується у певній послідовності: науково обґрунтований вибір сировинних матеріалів для заморожування, заснований на попередньо розроблених критеріях оцінювання плодів і ягід для заморожування (Сімахіна, 2021); вибір технологічних рішень залежно від варіанта технологічної схеми; технічне оснащення виробництва та освоєння способів отримання продукції високої якості; налагодження в майбутньому серійного виробництва при оптимальних витратах ресурсів.

Незалежно від варіанта обраної технологічної схеми заморожування плодів і ягід, підготовчі етапи однакові для всіх.

Передусім обрані для заморожування плоди та ягоди надходять на приймальний пункт. Під час приймання сировини їх ретельно відбирають за якістю, визначають зрілість і сортність.

На наступному етапі проводять сортування плодів і ягід для отримання однорідної за якістю і розмірами сировини. В процесі сортування (або до нього) плоди та ягоди очищують від стеблин, гілочок, чашолистків, плодоніжок тощо. Сортують сировину на інспекційних конвеєрах або (на невеликих підприємствах) — вручну на сортувальних столах. Плоди і ягоди сортують на три гатунки: вищий, перший і другий. Для вищого гатунку плоди або ягоди мають бути відбірними,

цільними, одного помологічного сорту і однакових розмірів; їхня органолептична характеристика за 5-бальною шкалою має відповідати 5 балам; вони призначені для тривалого (до 12 місяців) зберігання без зниження якісних та органолептичних показників і апіорі для заморожування з використанням кріопротекторів, тобто за третім варіантом.

Для першого гатунку допускаються плоди або ягоди як великих, так і середніх розмірів, нормального забарвлення, що відповідає свіжим зрілим плодам кожного помологічного сорту. Змішування помологічних сортів не допускається. Їх доцільно заморожувати за другим варіантом (з використанням цукрового сиропу).

Для другого гатунку можна використовувати зрілі плоди або ягоди, різні за розмірами, а також різних помологічних сортів. Із такої сировини складно зробити товарну продукцію високої якості з належними споживчими характеристиками, тому для її отримання раціонально використати найбільш простий і дешевий спосіб — заморожування за першим варіантом (насіпом на піддонах).

Плоди вищого та першого гатунків заморожують для виробництва різноманітних харчових продуктів, у тому числі десертів, для отримання харчових біодобавок з підвищеним вмістом БАР. Плоди другого сорту використовують як напівфабрикат чи сировину для подальшого перероблення. Заморожені ягоди використовують для приготування різних сумішей і готових страв (Павлюк, & Погарська, 2013).

Миття плодів та ягід виконують ручним способом або за допомогою спеціальних мийних машин (конвеєрна мийна машина з душовим пристроєм, вентиляторна мийна машина, елеваторна мийна машина, роторна мийна машина тощо). Миття плодів та ягід здійснюють у проточній чистій холодній воді за температури бажано не вище ніж 20 °C. Вода для миття має задовольняти всім вимогам, які ставляться до питної води. Вона не повинна містити заліза, оскільки при реакції заліза з дубильними речовинами сировини світле забарвлення темніє, змінюється колір шкірки.

Реакція води має бути нейтральною або слабколужною. Щоб забезпечити ефективність миття, сировина звільнюється від 80...90% мікроорганізмів, що містяться на її поверхні. З метою контролю ефективності процесу миття передбачено систематичне проведення мікробіологічних аналізів сировини перед миттям і після нього. При виборі мийних машин необхідно враховувати той факт, що під час миття сировина має бути захищена від механічних ушкоджень.

Після миття плоди та ягоди надходять на сітчастий конвеєр, де з них стікає вода. Тут же здійснюють остаточну перевірку якості сировини, видаляють побиті та пом'яті екземпляри. У невеликих цехах для видалення зайвої води плоди та ягоди можна насипати у решета чи корзини, де вони знаходяться протягом 10...15 хвилин. За необхідності (залежно від виду сировини) її перед заморожуванням подрібнюють (Соколенко, Шевченко, & Піддубний, 2009).

Для практичного застосування кожного із запропонованих варіантів заморожування доцільно надати їм конкретнішої характеристики. Розпочнемо з найпростішого способу, доступного як на великих підприємствах, так і у крафтових виробництвах, — **варіант 1: заморожування сировини на піддонах** (Семенюк, Петренко & Якушенко, 2022).

Сутність цього способу полягає в тому, що після відповідного оброблення кріопротекторами або безпосередньо після інспекції (згідно зі схемою) сировину викладають у 1...2 шари на піддони або конвеєрну стрічку морозильного тунелю і заморозують у потоці охолодженого повітря.

При цьому більшість об'єктів майже не змерзаються, і їх легко знімають із піддонів. Заморожені таким чином плоди та ягоди рекомендовано зсипати не відразу в тару, щоб не затримувати процес, а в проміжний бункер. Їх виготовляють з ізовольованими стінками, а в окремих випадках — з охолоджувальними батареями. Бункери розташовують на такій висоті, щоб створити самоплив замороженого продукту в тару.

Щоб заморожений продукт не піддавався дії підвищених температур, необхідно швидко розвантажувати піддони, фасувати, пакувати заморожені насипом плоди (ягоди) й доставляти їх до камер зберігання, підтримувати відносно низьку температуру в пакувальному приміщенні. При ручному пакуванні плодів і ягід температура повітря у приміщенні не повинна перевищувати 0 °С.

Результати виконаних досліджень показали, що на піддон розміром 60×50 см можна помістити таку кількість ягід: полуниць — 2,1 кг; малини — 1,6 кг; смородини — 2,2 кг; вишні — 2,5 кг.

При заморожуванні плодів насипом відбувається часткове випаровування води і втрати маси продукту: для вишні — 0,33%; чорної смородини — 0,68%; малини — 1,12%; полуниць — 1,5%. Очевидно, ці втрати залежать від величини питомої поверхні плодів, відношення площі поверхні до маси, а також від здатності шкірки об'єкта заморожування до десорбції води.

З метою зменшення випаровування води доцільно при заморожуванні плодів насипом підтримувати в морозильних камерах підвищену відносну вологість повітря. Цього можна досягти, якщо не допускати значного підвищення температури повітря, яке надходить до продукту, і підтримувати мінімальну різницю між температурами повітря та холодоагента.

Важливим з точки зору якості замороженої продукції є той факт, що при заморожуванні плодів та ягід насипом утворений у клітинах лід має дрібнокристалічну структуру і не руйнує тканини сировинних матеріалів як при заморожуванні, так і при зберіганні та дефростації.

Розглядаємо **варіант 2 — заморожування плодів та ягід з використанням цукрового сиропу**. Для заморожування плодів та ягід за цим варіантом беруть цукор або цукровий сироп різної концентрації — від 20 до 60%. Наприклад, для полуниць ми пропонуємо цукровий сироп концентрацією 60%, для вишні — 20%, для інших плодів — 40...50%. Проведені дослідження показали, що вищі концентрації сиропу призводять до зменшення об'єму плодів та погіршення їхніх смакових властивостей, очевидно в результаті плазмолізу плодових клітин. Концентрація лимонної кислоти, як зазначено вище, становить 1% до маси розчину.

Після дефростації (на схемі не вказано) заморожених плодів підвищується активність їхніх окислювальних ферментів, головним чином каталази, в результаті чого вони набувають стороннього присмаку, змінюють колір, різко погіршується їхня якість, і вони швидко псуються. За традиційними технологіями інактивація ферменту каталази в процесі бланшування запобігає погіршенню якості заморо-

жених плодів у процесі зберігання та після дефростації. Ефективність бланшування плодів оцінюють за вмістом у них каталази. Крім того, при бланшуванні з тканини плодів частково видаляється повітря, і це запобігає руйнуванню вітамінів при заморожуванні та подальшому зберіганні.

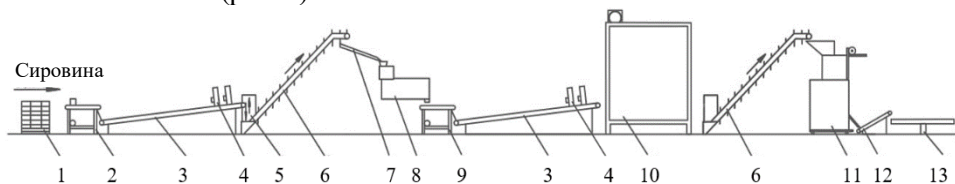
Водночас дія підвищених температур при бланшуванні викликає певні втрати вітаміну С, цукрів, кислот та інших сполук. Ці втрати збільшуються залежно від тривалості процесу. І якщо тривалість бланшування перевищує встановлене оптимальне значення для даного виду плодів, вони набувають вареного смаку й надмірно м'якої консистенції. Тому режим бланшування плодів має контролюватись шляхом визначення вмісту каталази.

Результати наших досліджень переконливо показали, що застосування ефективних кріопротекторів приводить до інактивування оксидаз, тому в цьому випадку етап бланшування вилучено.

Мідь є активним каталізатором руйнування вітаміну С при обробленні сировини. Тому, згідно з технічними умовами, в апаратурі відсутні мідні деталі.

Після видалення зайвої води плоди (ягоди) викладають у скляну тару. Плоди та ягоди, призначені для заморожування у цукровому сиропі з лимонною кислотою і викладені у скляну тару, перед заморожуванням ставлять у холодильну камеру з температурою 0 °С і витримують при цій температурі протягом 8—10 год. Цей процес дає змогу прискорити вилучення соку з плодів, розчинити цукор, якомога швидше просочити плоди сиропом, що в сукупності сприяє інтенсифікації процесу заморожування і поліпшує якість готової продукції. Після заморожування плоди та ягоди вкладають у контейнери і відправляють на зберігання при температурі 18 °С.

Для характеристики 3-го варіанта заморожування плодів і ягід з **використанням кріопротекторів** (Сімахіна, 2019) рис. 1 доповнюємо апаратурно-технологічною схемою (рис. 2).



**Рис. 2. Апаратурно-технологічна схема виробництва швидкозаморожених плодово-ягідних напівфабрикатів:** 1 — піддони з плодами чи ягодами в корзинках; 2 — вібраційна миюча машина; 3 — конвеєр для стікання залишків води та відбракування плодів або ягід; 4 — вентилятори для підсушування; 5 — сортувальний пристрій; 6 — транспортер під нахилом; 7 — вібраційний транспортер; 8 — міксер з дозатором розчину кріопротектора; 9 — вібраційний стіл; 10 — камера швидкого заморожування; 11 — фасувальна машина з вагами; 12 — стрічковий транспортер; 13 — робочий стіл для приймання пакетів

Лінія виробництва швидкозаморожених плодово-ягідних напівфабрикатів відзначається простотою конструктивного оформлення і має високу продуктивність.

Плодово-ягідна сировина надходить з плантацій, бажано — щойно зібрана. Після попереднього відбору за якістю вміст кошиків 1 висипають безпосередньо в вібраційну мийну машину 2 через певні проміжки часу (через 3—5 с залежно від

встановленої продуктивності лінії). Встановлена спеціальна світлова сигналізація фіксує момент засипання плодів чи ягід. Від правильної роботи на ділянці завантаження матеріалів в мийну машину залежить рівномірність роботи всієї лінії. В процесі швидкого заморожування на якість продукту негативно впливає як миттєве перевантаження, так і недовантаження конвеєрів, тому що в цьому випадку відбуваються різкі коливання температури процесу. При цьому утворюються злиплі грудки і партії недостатньо замороженого продукту.

У мийній машині 2 сировину інтенсивно мийуть у вібраційній ванні, наповненій водою, напрямом течії якої протилежний руху сировини. На виході з мийної машини сировина потрапляє під сильний душ, після якого падає на конвеєр 3, де з ягід (плодів) стікає зайва вода і їх контролюють для відбракування неякісних. Похила гумова стрічка конвеєра рухається від низу до верху. Кут нахилу стрічки і швидкість руху можна плавно регулювати. Сировина підсушується вентиляторами 4 для видалення зайвої води. Здорові, пружні ягоди (плоди) направляються в сортувальний пристрій 5, тоді як м'які перезрілі зразки прилипають до конвеєрної стрічки і переносяться до збірника відходів. Певний оптимальний режим роботи сортувальної машини досягається відповідним кутом нахилу конвеєрної стрічки і швидкістю її руху. З транспортера під нахилом 6 ягоди (плоди) подаються на вібраційний транспортер 7, який повинен забезпечити більш рівномірний розподіл продукту на конвеєрі. Далі сировина подається в міксер з дозатором розчину кріопротектора 8, де відбувається постійне перемішування суміші. Через 35—40 хв ягоди (плоди) подаються на вібраційний стіл 9, де з них стікає розчин кріопротектора. Перед входом в камеру швидкого заморожування плоди і ягоди мають вологу поверхню. Тому перед камерою встановлюють конвеєр для стікання залишків кріопротектора 3 і вентилятори для підсушування 4. При проходженні сировини по конвеєру стікання і під соплами осушувальних вентиляторів надлишок кріопротектора видаляється лише з поверхні ягід (плодів) без їх осушення. Наявність залишкового шару кріопротектора на поверхні ягід (плодів) додатково захищає продукт від надмірної усушки під час заморожування і зберігання.

Замороження плодів і ягід проводиться в камері швидкого заморожування безперервної дії 10 спочатку в зоні попереднього заморожування під флюїдизованим шаром, а потім в зоні остаточного заморожування при температурі холодного повітря в камері  $-35...-37$  °С.

При виході з морозильної камери розміщений транспортер під нахилом 6, який направляє заморожений продукт у фасувальну машину 11. Стрічковим транспортером 12 заморожена продукція в пакетах по 500 г передається на робочий стіл 13, де укладається в картонні коробки для складування в охолодженій камері. Якщо фасувальна машина 11 не використовується, то після камери швидкого заморожування продукцію укладають в візки або картонні ящики і зважують, після чого складають у холодильні камери.

Завершальний етап технологічного процесу отримання заморожених плодів та ягід — їх зберігання. Цьому процесові слід приділяти велику увагу, бо погіршення смакових, ароматичних і харчових властивостей продукту часто відбувається саме при неправильному зберіганні.

Більшість дослідників вважають, що для зберігання заморожених плодів необхідною є температура  $-15...-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а відносна вологість повітря —  $95...98\%$ . Рекомендовано регулярно, не рідше ніж один раз на місяць, визначати якісний стан замороженої продукції. Нашими дослідженнями переконливо доведено, що плоди, оброблені кріопротекторами, при зберіганні за температури  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  навіть через 6 місяців не втрачають високих якісних показників; зберігання при  $-8$  та  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  дає змогу підтримувати високу якість заморожених плодів протягом не більше ніж двох місяців.

Реалізацію заморожених плодів проводять або для їх безпосереднього вживання, або використовують як напівфабрикати для виробництва морозива, киселів, кондитерських виробів, ягідних сумішей тощо.

З метою доведення до споживача заморожених плодів та ягід у хорошому стані необхідно, щоб роздрібна торговельна мережа була обладнана ізотермічними холодильними шафами та прилавками з температурою не вищою ніж  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що забезпечить короткочасне зберігання продукту.

Розморожені плоди та ягоди зберігаються не більш ніж добу. Повторне їх заморожування категорично забороняється для запобігання розвитку небажаних мікробіологічних процесів.

При змішуванні заморожених плодів за певною рецептурою можна отримати дуже смачні фруктові асорті, що відрізняються від звичайних фруктових компотів, консервованих при високих температурах, своїм натуральним смаком, ароматом і високим вмістом вітамінів. Це ж стосується й ягід, заморожених із використанням кріопротекторів.

## **Висновки**

Плодово-ягідна сировина — основне джерело постачання населення продукцією з підвищеним вмістом вітамінів, мінеральних сполук, інших біологічно активних речовин для забезпечення необхідних щоденних фізіологічних потреб організму людини. Однак це сировина сезонна, непридатна у свіжому вигляді до тривалого зберігання, тому період її споживання досить обмежений. І лише використання методів заморожування та низькотемпературного зберігання надає можливість зберегти властивості, склад і харчову цінність плодів та ягід, здійснити їх глибше перероблення і, головне, забезпечити потреби населення у високовітамінній продукції впродовж року, особливо у міжсезонний період за відсутності свіжої сировини.

Відповідно до запропонованої універсальної схеми, штучний холод у харчовій промисловості у різних модифікаціях і варіантах застосування — заморожування сировини насипом на піддонах, заморожування з використанням цукру або цукрового сиропу, заморожування з використанням кріопротекторів дає змогу отримувати стандартизовані продукти, стабільні за якісними та органолептичними показниками; зменшувати втрати робочої сили, скоротити виробничі площі, зменшити тривалість кулінарного оброблення; тривалий час зберігати заморожені матеріали без застосування штучних консервантів та антиокислювачів.

У кожному з запропонованих варіантів заморожування плодово-ягідної сировини знайшли відображення сучасні методи, які реалізуються у промислових умовах, зокрема швидке та шокове заморожування. Водночас найбільш досконале

інноваційне наповнення властиве варіантові заморожування сировини з використанням кріопротекторів. І хоча ця принципово нова наукова ідея поки що не поширена у промисловості, за нею, безумовно, майбутнє — як для забезпечення внутрішнього ринку, так і з точки зору отримання експортоорієнтованої продукції. Ба більше, використання цього способу прогнозовано знизить залежність українського ринку від імпоротної замороженої продукції, посилюючи рівень продовольчої безпеки у сфері виробництва оздоровчих продуктів.

Аналіз запропонованої універсальної схеми свідчить про те, що основною передумовою створення нових видів замороженої продукції є досконала технічна підготовка, яка починається з вибору сировини, матеріалізації наукових ідей членів колективу, модернізації та інноваційного наповнення практичних розробок. Особливо яскравим прикладом перетворення і нагромадження науково-технічної інформації в об'єкти з новими якісними та органолептичними характеристиками є отримання продукції за способом поєднання штучного холоду з методами кріопротекції.

Завдяки гнучкості запропонованої універсальної схеми, її різновидам, можливостям взаємодоповнювати окремі стадії, зберігаючи особливості свого варіанта і специфіку своїх завдань, цілком реально заморозити практично всю вирощену плодово-ягідну сировину — кондиційну і некондиційну, з вищими або нижчими органолептичними характеристиками, призначену для тривалого зберігання або для подальшого перероблення тощо. Тоді основної мети заморожування — донести до столу споживача 80—90% вирощеної плодово-ягідної продукції (а не 30—40%, як у нинішніх умовах) буде досягнуто.

### Література

Белінська, С. О., Клячин, І. М. (2015). Трансформація форм води при зберіганні та заморожуванні квасолі стручкової овочевої. *Товари і ринки*, 1, 154—162. URL: <http://journals.knute.edu.ua/commodities-and-markets/article/view/1233/1200> (дата звернення 09.08.2023).

Белоус, А. М., Грищенко, В. І. (1994). Криобіологія: монографія. Київ: Наукова думка.

Гордієнко, Є. О., Товстяк, В. В. (2009). Фізика біомембран. Київ: Наукова думка.

Заморська, І. Л. (2018). Теоретичне обґрунтування і розроблення технологій зберігання та консервування ягід суниці садової: автореф. на здоб. наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.18.13. Київ.

Павлюк, Р. Ю., Погарська, В. В. та ін. (2013). Нове в технології отримання заморожених ягід та пюре з рекордними характеристиками. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 1, 3—9. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILE=&2\\_S21STR=Pt\\_2013\\_1\(1\)\\_3](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Pt_2013_1(1)_3) (дата звернення 09.08.2023).

Олійник, Н. М., Тарасюк, А. В., Макаренко, С. М. (2019). Проблеми та перспективи розвитку ринку заморожених напівфабрикатів. *Підприємництво і торгівля*, 24, 127—131. DOI: Осокіна, Н. М., Заморська, І. Л. (2017). Втрати маси та кріорезистентність суниці залежно від черговості збору врожаю та розміру ягід. *Вісник Херсонського нац. техн. ун-ту*, 4(63), 141—145.

Орлова, Н. Я., Белінська, С. О. (2005). Заморожені плодовоовочеві продукти: проблеми формування асортименту: монографія. Київ: КНТЕУ.

Одарченко, Д. М., Кудряшов, А. І., Бабіч, А. О. (2014). Заморожені напівфабрикати з диокорослих ягід: монографія. Харків: ХДУХТ.

Сімахіна, Г. О. (2021). Критерії придатності плодово-ягідної сировини до заморожування та їх практична реалізація. *Наукові праці НУХТ*, 27(3), 190—201.

Соколенко, А. І., Шевченко, О. Ю., Піддубний, В. А. та ін. (2009) Фізико-хімічні методи обробки сировини і стабілізація харчових продуктів. Київ: ПП «Люксар».

Семенюк, Д. П., Петренко, О. В., Якушенко, Є. М. (2022). Обладнання для холодильної та електромагнітної обробки харчових продуктів: навч. посібник. Харків: ДБТУ.

Сімахіна, Г. О. (2019). Удосконалення технології заморожування ягід поєднанням штучного холоду і кріопротекції. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, 30 (69), 4, 117—121. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/19>.

Bellis, M. (2019). A Chilling History of Frozen Food. URL: <https://www.thoughtco.com/chilling-history-of-frozen-food-4019667> (access date 08.08.2023).

Carrow, R. A., MacGrath, J. . (1985). Thermodynamic modeling and cryomicroscopy of cell-size unilamellar and paucilamellar liposomes. *Cryobiology*, 22, 251—267.

Leibo, S. P., Farrant, J., Mazur, P., Hanna, M. G. Jr, & Smith, L. H. (1999). Effects of freezing on marrow stem cell suspensions: interactions of cooling and warming rates in the presence of PVP, sucrose, or glycerol. *Cryobiology*, 4, 315—332.

Smith, A. U. (1991). Biological effects of freezing and supercooling. New York: Williams & Wilkins.

Somogyi, R. (1992). Effects of Chronic Central Cooling on Alimentation and Thermoregulation. *Acta Physiol. Scandinavica*, 55(2—3), 177—188.

Frozen Food Global Market Report 2022: Increasing Demand for Convenience Foods Bolsters Growth — ResearchandMarkets.com. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20230130005356/en/Frozen-Food-Global-Market-Report-2022-Increasing-Demand-for-Convenience-Foods-Bolsters-Growth---ResearchAndMarkets.com> (access date 09.08.2023).

<https://doi.org/10.36477/2522-1256-2019-24-19>.

Wagner, C. T., Martowicz, M. L., Livesey, S. A., Connor, J. (2002). Biochemical stabilization enhances red blood cell recovery and stability following cryopreservation. *Cryobiology*, 45(2), 153—166. DOI: 10.1016/s0011-2240(02)00124-4.

## THE EFFECT OF PUMPKIN PROTEIN CONCENTRATE IN COMBINATION WITH PHOSPHOLIPIDS ON THE QUALITY AND NUTRITIONAL VALUE OF WHEAT BREAD

A. Shevchenko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Bread*  
*Pumpkin protein concentrate*  
*Wheat flour*  
*Dough*  
*Nutritional value*

---

**Article history:**

Received 10.10.2023  
Received in revised form 25.10.2023  
Accepted 07.11.2023

---

**Corresponding author:**

A. Shevchenko  
**E-mail:**  
nastyusha8@ukr.net

**Citation:** А. О. Шевченко (2023). Вплив концентрату гарбузового протеїну в поєднанні з фосфоліпідами на якість і харчову цінність пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 157—165.  
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-15

---

**ABSTRACT**

In recent years, food security has suffered a significant negative impact. The range of food products, in particular bakery products, is represented mostly by traditional types with a rather low nutritional and biological value. The solution to this problem can be the inclusion of sources of complete proteins, such as pumpkin protein concentrate, in the formulation of such products, which, in combination with the lipid component, will be useful for people with diseases of the gastrointestinal tract, such as irritable bowel syndrome. Pumpkin and its processing products contain a set of necessary physiologically functional ingredients, due to which it can be used in the production of products to provide them with health-giving properties and increase their nutritional value.

Adding pumpkin protein concentrate to the recipe of wheat bread affected the sensory and physicochemical parameters of the dough and bread: the final acidity of the dough increased slightly, the specific volume of the products decreased by 24.4—35.5% and the porosity — by 4.0—22.7%. At the same time, the porosity structure remained uniform and small. Along with this, the taste of the products improved, and the color of the crust acquired a brown shade.

The protein content in bread increased by 12.6—84.9% with an increase in the dosage of pumpkin protein concentrate, while the content of carbohydrates and dietary fibers decreased slightly. The degree of providing the daily need for protein when using the daily norm of bread was at the level of 25—41%. An increase in the content of the vast majority of essential amino acids was established depending on the dosage of pumpkin protein concentrate, in particular the limiting amino acid — lysine. The content of leucine, methionine, threonine, valine and tryptophan increased significantly. The amino acid score of essential amino acids showed that the bread became full in case of methionine, threonine, valine and tryptophan even with the minimal dosage of pumpkin protein concentrate.

## ВПЛИВ КОНЦЕНТРАТУ ГАРБУЗОВОГО ПРОТЕЇНУ В ПОЄДНАННІ З ФОСФОЛІПІДАМИ НА ЯКІСТЬ І ХАРЧОВУ ЦІННІСТЬ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

А. О. Шевченко

Національний університет харчових технологій

Протягом останніх років продовольча безпека зазнала суттєвого негативно-го впливу. Асортимент харчових продуктів, зокрема хлібобулочних виробів, представлений здебільшого традиційними видами з доволі низькою харчовою та біологічною цінністю. Вирішенням цієї проблеми може бути включення в рецептуру таких виробів джерел повноцінних білків, таких як концентрат гарбузового протеїну, який в поєднанні з ліпідною складовою буде корисним для осіб з хворобами шлунково-кишкового тракту, такими як синдром подразненого кишечника. Гарбуз і продукти його переробки містять комплекс необхідних фізіологічно функціональних інгредієнтів, завдяки чому його можна використовувати у виробництві продуктів для надання їм оздоровчих властивостей і підвищення їхньої харчової цінності.

Внесення в рецептуру пшеничного хліба концентрату гарбузового протеїну вплинуло на органолептичні та фізико-хімічні показники тіста й хліба: децю підвищилась кінцева кислотність тіста, відбулось зниження питомого об'єму виробів на 24,4—35,5% та пористості на 4,0—22,7%. При цьому структура пористості залишається рівномірною та дрібною. Поряд з цим покращується смак виробів, а також забарвлення скоринки набуває коричневого відтінку.

Вміст білка в хлібі підвищився на 12,6—84,9% зі збільшенням дозування концентрату гарбузового протеїну, децю знизився вміст вуглеводів і харчових волокон. Ступінь забезпечення добової потреби в білку при вживанні добової норми хліба знаходився на рівні 25—41%. Встановлено збільшення вмісту переважної більшості незамінних амінокислот залежно від дозування концентрату гарбузового протеїну, зокрема лімітуючої амінокислоти — лізину. Значно зріс вміст лейцину, метіоніну, треоніну, валіну й триптофану. Амінокислотний скор НАК свідчить про те, що повноцінним хліб став за метіоніном, треоніном, валіном і триптофаном навіть при мінімальному дозуванні концентрату гарбузового протеїну.

**Ключові слова:** хліб, концентрат гарбузового протеїну, інтегральний скор, тісто, харчова цінність.

**Постановка проблеми.** Протягом останніх років, зважаючи на військову агресію, значне погіршення екологічної ситуації у світі, продовольча безпека зазнала суттєвого негативного впливу. Асортимент харчових продуктів, зокрема хлібобулочних виробів, представлений здебільшого традиційними видами з доволі низькою харчовою та біологічною цінністю (Хуе, Matros, Mock, & Mühling, 2019). Вирішенням цієї проблеми може бути включення в рецептуру цих виробів джерел повноцінних білків, зокрема концентрату гарбузового протеїну, який в поєднанні з ліпідною складовою буде корисним для осіб з хворобами шлунково-кишкового

тракту, такими як синдром подразненого кишечника (Сімахіна, Науменко, & Башта, 2020).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Гарбуз і продукти його переробки містять комплекс необхідних фізіологічно функціональних інгредієнтів, завдяки чому його можна використовувати у виробництві продуктів для надання їм оздоровчих властивостей і підвищення їхньої харчової цінності.

Вивчали вплив додавання борошна гарбузового, отриманого з гарбузів різних сортів на технологічні параметри хліба пшеничного. 10% борошна пшеничного заміняли борошном гарбузовим. Упікання хліба змінювалось від 13,4% до 13,9% залежно від сорту. Найвищий показник був для контролю, для зразків з додаванням гарбузового борошна він знизився на 3—4%. Усихання хліба становило 5,0—5,4%. Найменшим цей показник був для контролю. Встановлено, що питомих об'єм хліба становив 203—225 см<sup>3</sup>/100 г. Найвищий об'єм у варіанті без додавання борошна гарбузового, найменший — за додавання борошна гарбузового сортів «Український багатоплідний», «Потімаррон» та «Мозоліївський 15». Отже, додавання борошна гарбузового в цілому зумовлювало зменшення питомого об'єму, тоді як сорт істотно не впливав на цей показник (Любич, Карпенко, Железна, & Новіков, 2022).

Досліджено використання молока насіння гарбуза для виробництва хліба в кількості від 0 до 40 мл. Вміст сирого протеїну, сирі клітковини, золи, вологи, вуглеводів у хлібі з молоком насіння гарбуза поступово збільшувався зі збільшенням частки молока, причому показники з 40 мл мали найвищі значення: 39,50% вологи 12,50% протеїну, 2,20% сирі клітковини, 2,65% золи, 63,25% вуглеводів, тоді як найнижчі значення були зафіксовані для контрольного зразка. Не спостерігалося суттєвих відмінностей між питомим об'ємом, пористістю та формостійкістю виробів з молоком насіння гарбуза. За органолептичними показниками значні відмінності були при внесенні 40 мл молока насіння гарбуза: покращились колір скоринки, смак, аромат (Elechi, Adamu, & Salihu, 2020).

Відомо додавання пюре з м'якоти гарбуза в рецептуру пшеничного хліба. Порівнювали використання сирого пюре та попередньо обробленого шляхом дії мікрохвильового випромінювання. Результати пробних лабораторних випікань показали, що в разі використання пюре з попередньо підготовленого гарбуза органолептичні показники виробів кращі, ніж у разі застосування сирого пюре. Питомий об'єм і пористість виробів зменшуються в обох випадках, проте незначно (Свястин, & Карпович, 2020).

Однак практично не було знайдено даних щодо застосування гарбузового протеїну в технології пшеничного хліба, тому цей напрямок є актуальним, зважаючи на значну концентрацію білка в цій сировині.

Сировину, багату на білок, рекомендують споживати в поєднанні з ліпідною складовою. Багатим на фосфоліпіди є соняшниковий лецитин, який володіє також емульгуючими властивостями (Stremmel, Vural, Evliyaoglu, & Weiskirchen, 2021).

**Мета дослідження:** визначити вплив концентрату гарбузового протеїну в поєднанні з соняшниковим лецитином на показники якості пшеничного хліба, його харчову та біологічну цінність.

**Матеріали і методи.** *Підготовка зразків.* Для досліджень використовували борошно пшеничне вищого сорту, лецитин соняшниковий, концентрат гарбузового протеїну.

Зразки тіста готували безопарним способом з додаванням пресованих хлібопекарських дріжджів і солі. До маси борошна додавали лецитин у кількості 3%. Для визначення раціонального дозування концентрату гарбузового протеїну його додавали в кількості 5%, 10% та 20% до маси борошна з розрахунку забезпечення 20, 30 та 40% добової потреби в білку. Контрольним був зразок без добавок.

*Питомий об'єм хліба.* Для визначень використовують зерно, об'єм якого при витісненні хлібом еквівалентний питомому об'єму хліба. Для визначення контрольного об'єму зерна в порожню чашу приладу засипають зерно до заповнення чаші. Цей об'єм зерна використовується для визначення. В основну ємність засипають невелику кількість зерна, на нього кладуть хліб, а решту зерна закладають понад ємність. Надлишок зерна видаляють і поміщають у мірний циліндр. Об'єм зерна в циліндрі (см<sup>3</sup>) дорівнює об'єму хліба (Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022).

Питомий об'єм хліба визначається діленням об'єму хліба на його масу і виражається з точністю до 1 см<sup>3</sup>/100 г (Zhu, Sakulnak, & Wang, 2016).

*Пористість хліба.* Пористість хліба відображає об'єм пор у певному об'ємі м'якушки, виражений у відсотках до загального об'єму (Verheyen, Albrecht, Elgeti, Jekle, & Becker, 2015). Вимірювання проводять за допомогою приладу Журавльової.

*Амінокислотний склад хліба.* Визначення амінокислотного складу проводили методом іонообмінної хроматографії (Huang, Tsai, & Chen, 2011). Якісне та кількісне визначення амінокислот полягало в гідролізі білків і визначенні їх кількості за допомогою автоматичного аналізатора амінокислот Т-339 (Mikrotechna Praha a.s., Прага, Чехія), з використанням полістиролсульфонатної іонообмінної смоли «Ostion LJ ANB» в одноколонковому режимі Li-цитратного буфера з рН 2,75 ± 0,01; рН 2,95 ± 0,01; рН 3,2 ± 0,02; рН 3,8 ± 0,02; рН 5,0 ± 0,2. Виявлення амінокислот проводили при довжині хвилі 560 нм ректифікацією розчином нінгідрину на фотометрі (Unicam SP 800, Unicam Instruments, Кембридж, Великобританія). Результати реєструвались варіплотером у вигляді піків поглинання світла нінгідринпозитивних речовин в елюенті, які позначають прямі співвідношення концентрацій цієї речовини в розчині. Масу кожної амінокислоти, виражену в г на 100 г білка ( $A_i$ ), в досліджуваному розчині розраховували за формулою (1):

$$A_i = \frac{M_i \cdot S_i}{S_e^3}, \quad (1)$$

де  $M_i$  — молекулярна маса кожної амінокислоти;  $S_i$  — площа піку кожної амінокислоти на амінограмі досліджуваного розчину;  $S_e$  — площа піку кожної амінокислоти на амінограмі розчину стандартної суміші амінокислот, яка відповідає одному мікромолю.

Амінокислотний скор визначали згідно зі шкалою сертифіката Всесвітньої організації охорони здоров'я (Choi та ін., 2012).

*Вміст основних нутрієнтів у хлібі.* Вміст загального білка. 1 г м'якушки хліба гідролізували 15 мл концентрованої сірчаної кислоти з двома таблетками мідного каталізатора, у термоблоці при 420 °С протягом 2 годин. Після охолодження додавали до гідролізатів дистильовану воду перед нейтралізацією і титруванням (Mæhre, Dalheim, Edvinsen, Elvevoll, & Jensen, 2018).

Вміст жиру. М'якушку хліба екстрагують протягом 6—24 год для виділення жирів. Після завершення екстракції розчинник випаровується, а сума ліпідів, що залишилися, вимірюється за (López-Bascón, & de Castro, 2020).

Клітковина. Визначають ферментативно-гравіметричним методом. Кількість клітковини в м'якушці хліба розраховували як масу залишку мінус масу білка та золи (McCleary та ін., 2012).

*Забезпечення добової потреби в основних нутрієнтах.* Для оцінки забезпечення добової потреби в поживних речовинах розраховували інтегральний скор (Dietary Guidelines Advisory Committee, 2015), який виражав ступінь забезпечення добової потреби за кількісними значеннями показників харчової цінності (білків, жирів, вуглеводів, клітковини). Він вказує на відсоток відповідності вмісту кожної харчової речовини в харчовому продукті формулі збалансованого раціону.

*Статистичний аналіз.* Представлені дані — це середнє арифметичне значення трьох повторів ± стандартне відхилення.

**Викладення основних результатів дослідження.** Внесення в рецептуру хлібобулочних виробів концентрату гарбузового протеїну вплинуло на їхні показники якості (табл. 1).

*Таблиця 1. Показники якості тіста та хліба*

Показники	Контроль	Зразок з лецитином	З концентратом гарбузового протеїну, % до борошна пшеничного		
			5	10	20
<b>Тісто</b>					
Вологість, %	41,7	41,8	41,9	41,7	41,8
Кислотність, град					
- початкова	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
- кінцева	2,4	2,4	2,5	2,5	2,7
Тривалість бродіння, хв	150				
Тривалість вистоювання, хв	44	44	44	44	44
<b>Хліб</b>					
Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /100 г	224	234	177	164	152
Формостійкість, Н/Д	0,56	0,61	0,60	0,58	0,56
Пористість, %	73	75	72	68	58
Кислотність кінцева, град	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1

Продовження таблиці 1

Стан поверхні	гладка, без тріщин	гладка, без тріщин	гладка, без тріщин	гладка, без тріщин	гладка, без тріщин
Колір м'якушки	світлий	світлий	світлий	світло-коричневий	із зеленувато-коричневим забарвленням
Колір скоринки	світло-жовтий	світло-жовтий	світло-жовтий	світло-коричневий	із зеленувато-коричневим забарвленням
Структура пористості	рівномірна, дрібна, тонкостінна	рівномірна, дрібна, тонкостінна	рівномірна, дрібна, тонкостінна	рівномірна, дрібна, тонкостінна	рівномірна, дрібна, тонкостінна
Смак	притаманний виробу	притаманний виробу	притаманний виробу	з гарбузовим присмаком	з вираженим гарбузовим присмаком

Зі збільшенням відсотка внесення концентрату гарбузового протеїну зростає кінцева кислотність тіста, що спричинено більш високою кислотністю цієї сировини. Тривалість вистоювання тістових заготовок не змінилась.

Значний вплив протеїн мав на показники якості хліба. Внесення лецитину призвело до підвищення питомого об'єму хліба за рахунок позитивної дії цієї добавки на бродильну активність дріжджів. Однак при додаванні додатково концентрату гарбузового протеїну відбулось зниження питомого об'єму виробів на 24,4—35,5% та пористості на 4,0—22,7%. Це можна пояснити тим, що білки цієї сировини не містять клейковинних білків, а отже, і не сприяють формуванню клейковинного каркасу. При цьому структура пористості залишається рівномірною та дрібною.

Поряд з цим покращується смак виробів, а також забарвлення скоринки набуває коричневого відтінку за рахунок наявності більшої кількості білків, амінокислоти яких вступаючи в реакцію з власними цукрами борошна в тісті під дією температури надають більш інтенсивне забарвлення скоринці (Vélez, Pagán, & Ibarz, 2012). Таким чином, хліб, виготовлений з досліджуваною сировиною, має добрі споживчі властивості.

Концентрат гарбузового протеїну містить у 5,2 раза більше білка, ніж пшеничне борошно вищого сорту. Внесення його в рецептуру здатне значно збагатити хліб цим нутрієнтом. Проведено визначення вмісту основних нутрієнтів в хлібі з концентратом гарбузового протеїну та забезпечення ними добової потреби організму (табл. 2).

Таблиця 2. Вміст основних нутрієнтів в хлібі та забезпечення ними добової потреби організму

Вміст у 100 г продукту, г	Контроль	З концентратом гарбузового протеїну, % до маси борошна пшеничного		
		5	10	20
білки	8,07±0,1	9,08±0,1	11,02±0,1	14,92±0,1
жири	2,79±0,1	3,02±0,1	3,35±0,1	4,00±0,1
вуглеводи	52,96±0,1	47,12±0,1	47,63±0,1	48,64±0,1

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Продовження таблиці 2

харчові волокна	2,65±0,1	2,67±0,1	2,87±0,1	3,40±0,1
Інтегральний скор, % за рахунок вживання 100 г хліба				
білки	13,67	15,39	18,68	25,28
жири	4,66	5,03	5,58	6,67
вуглеводи	15,40	13,70	13,85	14,14
харчові волокна	10,61	10,68	11,47	13,60
Інтегральний скор, % за рахунок вживання добової норми хліба (277 г)				
білки	22,35	25,14	30,54	41,32
жири	7,74	8,37	9,27	11,08
вуглеводи	42,65	37,94	38,35	39,17
харчові волокна	29,38	29,58	31,76	37,67

Вміст білка в хлібі підвищився на 12,6—84,9% зі збільшенням дозування концентрату гарбузового протеїну. Вміст жиру підвищився незначно, оскільки вміст ліпідів у добавці невисокий, також дещо знизився вміст вуглеводів і харчових волокон. Ступінь забезпечення добової потреби в білку при вживанні добової норми хліба знаходився на рівні 25—41%, що корелює з розрахунками кількості внесення концентрату протеїну в рецептуру виробів.

Оскільки додавання концентрату гарбузового протеїну має на меті передусім підвищення біологічної цінності хлібобулочних виробів шляхом збільшення білкової складової, було визначено вміст незамінних амінокислот в хлібі при доданні різної кількості протеїну (табл. 3).

Було проведено експертне оцінювання виробів за участі дегустаторів. Результати оброблені методом математичної статистики (табл. 3).

**Таблиця 2. Вміст незамінних амінокислот (НАК) у хлібі з концентратом гарбузового протеїну**

Назва НАК	Контрольний зразок	Концентрат гарбузового протеїну, % до маси пшеничного борошна		
		5	10	20
г/100 г білка в хлібі				
Лейцин	7,78±0,01	18,10±0,01	24,98±0,01	33,59±0,01
Ізолейцин	4,25±0,01	5,00±0,01	5,49±0,01	6,11±0,01
Метіонін	3,38±0,01	8,09±0,01	11,23±0,01	15,15±0,01
Лізин	2,56±0,01	2,63±0,01	2,68±0,01	2,75±0,01
Фенілаланін	7,36±0,01	7,08±0,01	6,90±0,01	6,66±0,01
Треонін	3,07±0,01	9,11±0,01	13,13±0,01	18,16±0,01
Валін	4,67±0,01	11,97±0,01	16,84±0,01	22,92±0,01
Триптофан	0,98±0,01	4,17±0,01	6,30±0,01	8,96±0,01
г/100 г хліба				
Лейцин	0,71±0,01	1,67±0,01	2,31±0,01	3,12±0,01
Ізолейцин	0,39±0,01	0,46±0,01	0,51±0,01	0,57±0,01
Метіонін	0,31±0,01	0,75±0,01	1,04±0,01	1,41±0,01
Лізин	0,23±0,01	0,24±0,01	0,25±0,01	0,26±0,01
Фенілаланін	0,68±0,01	0,65±0,01	0,64±0,01	0,62±0,01
Треонін	0,28±0,01	0,84±0,01	1,22±0,01	1,69±0,01
Валін	0,43±0,01	1,10±0,01	1,56±0,01	2,13±0,01
Триптофан	0,09±0,01	0,38±0,01	0,58±0,01	0,83±0,01

Амінокислотний скор				
Лейцин	1,11	2,59	3,57	4,80
Ізолейцин	1,06	1,25	1,37	1,53
Метіонін	0,97	2,31	3,21	4,33
Лізин	0,46	0,48	0,49	0,50
Фенілаланін	1,23	1,18	1,15	1,11
Треонін	0,77	2,28	3,28	4,54
Валін	0,93	2,39	3,37	4,58
Триптофан	0,98	4,17	6,30	8,96

Встановлено збільшення вмісту переважної більшості незамінних амінокислот залежно від дозування концентрату гарбузового протеїну, зокрема лімітуючої амінокислоти — лізину. Однак її вміст все ж знаходиться на невисокому рівні, що спонукає до пошуку способів підвищити її кількість. Значно зріс вміст лейцину, метіоніну, треоніну, валіну та триптофану. Амінокислотний скор НАК свідчить про те, що повноцінним хліб став за метіоніном, треоніном, валіном і триптофаном навіть при мінімальному дозуванні концентрату гарбузового протеїну.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення можливих технологічних прийомів, спрямованих на збільшення питомого об'єму виробів з концентратом гарбузового протеїну.

## Висновки

Внесення в рецептуру пшеничного хліба концентрату гарбузового протеїну вплинуло на органолептичні та фізико-хімічні показники тіста й хліба: дещо підвищилась кінцева кислотність тіста, відбулось зниження питомого об'єму виробів на 24,4—35,5% та пористості на 4,0—22,7%. При цьому структура пористості залишається рівномірною та дрібною. Поряд з цим покращується смак виробів, а також забарвлення скоринки набуває коричневого відтінку.

Вміст білка в хлібі підвищився на 12,6—84,9% зі збільшенням дозування концентрату гарбузового протеїну, дещо знизився вміст вуглеводів і харчових волокон. Ступінь забезпечення добової потреби в білку при вживанні добової норми хліба знаходився на рівні 25—41%. Встановлено збільшення вмісту переважної більшості незамінних амінокислот залежно від дозування концентрату гарбузового протеїну, зокрема лімітуючої амінокислоти — лізину. Значно зріс вміст лейцину, метіоніну, треоніну, валіну й триптофану. Амінокислотний скор НАК свідчить про те, що повноцінним хліб став за метіоніном, треоніном, валіном і триптофаном навіть при мінімальному дозуванні концентрату гарбузового протеїну.

## Література

Любич, В. В., Карпенко, В. П., Желєзна, В. В., Новіков, В. В. (2022). Якість хліба з борошном гарбузовим різних сортів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (4), 74—81. <https://doi.org/10.32851/tmv-tech.2022.4.9>.

Свястин, І. В., Карпович, Ю. В. (2020). *Переваги використання гарбузового торе в технології пшеничного хліба*. Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді: Всеукраїнська

науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених, 8 квітня 2020 р. Ч. 1. Харків: ХДУХТ, 2020. С. 45.

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Башта А. О. (2020). *Основи валеології. Оздоровчі аспекти харчування*. Київ: «Сталь», 316 с.

Choi, Y. S., Kim, H. W., Hwang, K. E., Song, D. H., Park, J. H., Lee, S. Y., Choi, M. S., Choi, J. H., Kim, C. J. (2012). Effects of pumpkin (*Cucurbita maxima Duch.*) fiber on physicochemical properties and sensory characteristics of chicken frankfurters. *Food Science of Animal Resources*, 32, 174—183. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.2.174>.

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>.

Huang, S. C., Tsai, Y. F., Chen, C. M. (2011). Effects of wheat fiber, oat fiber on sensory and physico-chemical properties of Chinese-style sausages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24, 875—880. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10317>.

López-Bascón, M. A., de Castro, M. L. (2020). Liquid-phase extraction. *Elsevier*, 11, 327—354. <https://www.elsevier.com/books/liquid-phase-extraction/poole/978-0-12-816911-7>.

McCleary, B. V., De Vries, J. W., Rader, J. I., Cohen, G., Prosky, L., Mugford, D. C., Champ, M., Okuma, K. (2010). Determination of Total Dietary Fiber (CODEX Definition) by Enzymatic-Gravimetric Method and Liquid Chromatography: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 93(1), 221—233. <https://doi.org/10.1093/jaoac/93.1.221>.

Mæhre, H. K., Dalheim, G. K., Elvevoll, E. O., Jensen, I. (2018). Protein determination-method matters. *Foods*, 7(1), 5—14. <https://doi.org/10.3390/foods7010005>.

Shevchenko A., Drobot V., Galenko O. (2022). Use of pumpkin seed flour in preparation of bakery products. *Ukrainian Food Journal*. 11(1), 90—101. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2022-11-1-10>.

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>.

Vélez, A. P. E., Pagán, J., Ibarz, A. (2012). Melanoidins Formed by Maillard Reaction in Food and Their Biological Activity. *Food Engineering Reviews*, 4(4), 203—223. <https://doi.org/10.1007/s12393-012-9057-9>.

Verheyen, C., Albrecht, A., Elgeti, D., Jekle, M., Becker, T. (2015). Impact of gas formation kinetics on dough development and bread quality. *Food Research International*, 76(3), 860—866.

Xue, C., Matros, A., Mock, H. P., Mühling, K. H. (2019). Protein Composition and Baking Quality of Wheat Flour as Affected by Split Nitrogen Application. *Frontiers in plant science*, 10, 642. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00642>

Zhu, F., Sakulnak, R., Wang, S. (2016). Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread. *Food Chemistry*, 194, 1217—1223.

**MODERN TRENDS IN OMICS-BIOTECHNOLOGIES —  
FROM NUTRIGENOMICS TO PERSONALISED DIETS.  
PART 1.**

**L. Kaprelyants, L. Pozhitkova, O. Velichko, M. Ochotska**

*Odessa National University of Technologie*

**O. Bilyk**

*National University of Food Technologies*

**Key words:**

*Omics  
Transcriptomics  
Proteomics and  
metabolomics  
Probiotics  
Microbiota  
Microbiom  
Personalized diets*

**Article history:**

Received 17.10.2023  
Received in revised form  
01.11.2023  
Accepted 17.11.2023

**Corresponding author:**

O. Bilyk  
**E-mail:**  
bilyklena@gmail.com

**Citation:** Л. В. Капрельянц, Л. Г. Пожиткова, Т. О. Велічко, М. І. Охотська, О. А. Білик (2023). Сучасні тренди в омікс-біотехнологіях — від геноміки до персоналізованих дієт. Частина 1. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 166—183.  
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-16

**ABSTRACT**

The omics technologies of metabolomics, transcriptomics, proteomics, holo-biont, metagenomics play an increasingly important role in nutritional science. With the advent of precision nutrition and the need to understand individual responses to dietary interventions, it is necessary to explore the impact of these tools to date in human nutrition research and create functional foods and personalized diets. Metabolomics, in particular, plays a key role in the development of food intake biomarkers to improve the accuracy of dietary assessment and technologies in nutrition science and creation of new generation of function foods.

Further work is needed to realize the full potential of nutrigenomics data, biomarkers and demonstrate integration with current strategies to overcome the established limitations of self-reporting approaches and introduction of individual medicine.

Modern trends in the latest direction of creation and use of these omics technologies for the creation of health and functional food products of the new generation, personalized diets, creation of the trend of individual medicine are analyzed. Modern directions of research are outlined in general terms. The state of the current situation regarding the definition of the main biotechnological approaches and the use of modern methods of genomics and nutrigenomics is characterized, and the obtained metadata is focused on the creation of the physiological and functional ingredients, as active components in the production of functional products.

The purpose of the conducted analytical review is to use multiomic approaches, which make it possible to interpret complex biological information about the causes and state of diseases and to determine how nutrition can affect human health.

The literature search was conducted using PubMed, eLibrary, ResearchGate, ScienceDaily databases.

## СУЧАСНІ ТРЕНДИ В ОМІКС-БІОТЕХНОЛОГІЯХ — ВІД ГЕНОМІКИ ДО ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ ДІЄТ. ЧАСТИНА 1

Л. В. Капрельянци, Л. Г. Пожіткова, Т. О. Велічко, М. І. Охотська  
Одеська національна академія харчових технологій

О. А. Білик

Національний університет харчових технологій

Омічні технології метаболоміки, транскриптоміки, протеоміки, голобіонтів, метагеноміки відіграють усе більшу важливу роль у науці про харчування. З появою точного харчування та необхідністю зрозуміти індивідуальні реакції на дієтичні втручання настав час дослідити вплив цих інструментів на харчування людини і створення функціональної їжі та персоналізованих дієт. Метаболоміка, зокрема, зіграла ключову роль у розробці біомаркерів споживання їжі для підвищення точності оцінки дієти та технологій у науці про харчування і створення нового покоління функціональних харчових продуктів.

Необхідна подальша робота, щоб реалізувати весь потенціал даних нутригеноміки, біомаркерів і продемонструвати інтеграцію з поточними стратегіями для подолання встановлених обмежень підходів до самозвітності та впровадження індивідуальної медицини.

У статті проаналізовано сучасні тренди в новітньому напрямку створення і використання даних омікс-технологій для розроблення оздоровчих і функціональних харчових продуктів нового покоління, персоналізованих дієт, впровадження тренду індивідуальної медицини. У загальних рисах окреслені сучасні напрямки досліджень. Охарактеризовано стан поточної ситуації щодо визначення основних біотехнологічних підходів та використання сучасних методів геноміки і нутригеноміки, отримані метадані сфокусовано на створенні новітніх фізіолого-функціональних інгредієнтів як активних складових у виробництві функціональних продуктів.

Метою проведеного аналітичного огляду є використання мультиомічних підходів, що надають можливість інтерпретувати складну біологічну інформацію про причини та стан захворювань і визначити, як харчування може впливати на здоров'я людини. Пошук літератури проводили в базах PubMed, eLibrary, ResearchGate, ScienceDaily.

**Ключові слова:** омікс-технології, нутригеноміка, транскриптоміка, протеоміка і метаболоміка, функціональні продукти, персоналізовані дієти.

**Постановка проблеми.** Зростання чисельності населення, зміна клімату, виснаження ресурсів, здоров'я та харчування людей — усе це проблеми, з якими стикається світ, які створюють зростаючий тиск на наявні ресурси. Виробництво більшої кількості високоякісних і безпечних продуктів харчування на меншій площі з меншим впливом на навколишнє середовище буде одним із найбільших викликів двадцять першого століття. Досягнення омікс-технологій підтримують виробництво, сільське господарство, тваринництво та аквакультури, щоб краще впоратися з викликами (Ordovas, Ferguson, & Mathers, 2018; Fenech та ін., 2011).

Омікс-технології останнім часом набувають значної привабливості у науковій спільноті. Відомо, що дієта та харчові складові суттєво впливають на здоров'я людини, але тільки в останні роки отримано експериментальні дані про взаємодію нутріцевтиків і біоактивних компонентів їжі та їх впливів, які можуть змінювати генетичні й епігенетичні події в організмі людини.

Омікс-технології є потужним інструментом, особливо в поєднанні з передовими молекулярними і селекційними методами. Технології омікс перегруповують технології, що підтримують дослідження груп біологічних молекул, зокрема генома, а також протеому, транскриптому, ліпідому та метаболому та взаємодії між молекулами, наприклад інтерактоміку, епігеноміку, і можуть включати також мікробіоміку, в якій досліджується цілісне (симбіозтичне) мікробне середовище. Омікс-технології також відносяться до інтегративних колективних технологій, які використовуються в системному підході для дослідження ролей, взаємозв'язків і дій цих різних типів молекул, які часто використовуються у високопродуктивних програмах (Kruglyak, & Nickerson, 2001).

Згідно із сучасними уявленнями, людина — це складний «надорганізм», симбіотична спільнота численних еукаріотичних клітин і різних мікроорганізмів, оптимальна кількість, співвідношення, функціонування і взаємодія яких визначає міцність здоров'я. Загальна кількість соматичних і зародкових клітин цього «надорганізму» досягає 1 трильйона, мікробних клітин — понад 100 трильйонів. З хімічної точки зору тіло дорослої людини складається з 2,5 млн різних молекул, включаючи близько 1 млн різноманітних білків, 300 тис. різних ліпідів і сотень тисяч інших простих та складних сполук (Ortega-Azorin та ін., 2012).

Різні біологічні та абіотичні фактори здатні стабільно чи зворотно модифікувати ці взаємовідношення і, як наслідок, привертати до ризику виникнення та розвитку тих чи інших захворювань (Guest, Horne, Vanderhout, & El-Sohemy, 2019).

Таким чином, для комплексного вивчення цього «надорганізму» та його окремих складових в останнє десятиліття все більше використання знаходять різноманітні молекулярні омікс-технології, суттєво змінюючи наші уявлення про науки пов'язані з живою природою. Їхня відмінність від традиційних методів досліджень полягає в тому, що вони, використовуючи сучасні технологічні платформи (секвенування, мас-спектрометрія, хроматографія, біоінформаційний аналіз та інші), дають змогу отримувати інформацію про людину як єдину інтегровану систему, а не просто як колекцію знань про її окремі функціональні системи. Для аналізу отриманих даних використовують сучасні методи статистичної оцінки, новітні комп'ютерні програми (Crovesy, & Rosado, 2019).

**Мета статті:** узагальнення даних літератури, що стосуються сучасних трендів у новітньому напрямі створення і використання даних омікс-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.** *Оміксні технології* — комплекс найсучасніших технологій, що включають геноміку, епігеноміку, транскриптоміку, протеоміку, метаболоміку, метагеноміку, інтерактоміку та інші сучасні напрямки біотехнології. Завдяки досягненням в біології, молекулярній генетиці,

біоінформатиці та використанню омїкських технологій стало можливим вивчення організмів і їх частин на різних рівнях, починаючи з найглибшого — рівня організації ДНК. Ці технології дають змогу виявити ті чи інші мутації в ДНК, з'ясувати, яким чином вони впливають на експресію генів і продукування білків, а також — як ці білки взаємодіють між собою в подальшому (Gharooi Ahangar, Javanrouh, Daneshpour, Barzin, Valizadeh, & Azizi, 2020).

*Мультиоміка* — підхід, який об'єднує дані багатьох омїкських технологій для інтегративного й повноцінного розуміння процесів в одній клітині чи в певному середовищі, тканині або екосистемі. Єдиний рецензований науковий журнал, що охоплює всі міждисциплінарні області, які пов'язані з омїкськими технологіями, включаючи стандарти даних та їх обмін, заяви на персоналізовану медицину і дієту, практику громадського здоров'я та інші аспекти цього спрямування є *Omix Technologies* (США) (Dougkas, Yaqoob, Givens, Reynolds, & Minihane, 2013; Goltz, Thackray, Varela-Mato, King, Dorling, & Dowejko, 2019).

У літературі існує безліч визначень *нутрігеноміки*, причому в найширшому сенсі вона розглядається як галузь науки, що вивчає взаємодію між харчуванням та господарем (геномом) за допомогою омїкських технологій. У цьому вся визначеність генетики харчування — розділу нутрігеноміки, що фокусується на взаємодії між варіантами генома і дієтою (рис. 1). У цій частині огляду ми зосередимося на використанні омїкських технологій, метаболоміці, транскриптоміці, протеоміці та метагеноміці в науці про харчування (Huang, Zheng, Hruby, Williamson, Bray, & Shen, 2017; Chamoun, Hutchinson, Krystia, Mirota, Mutch, & Buchholz, 2018).

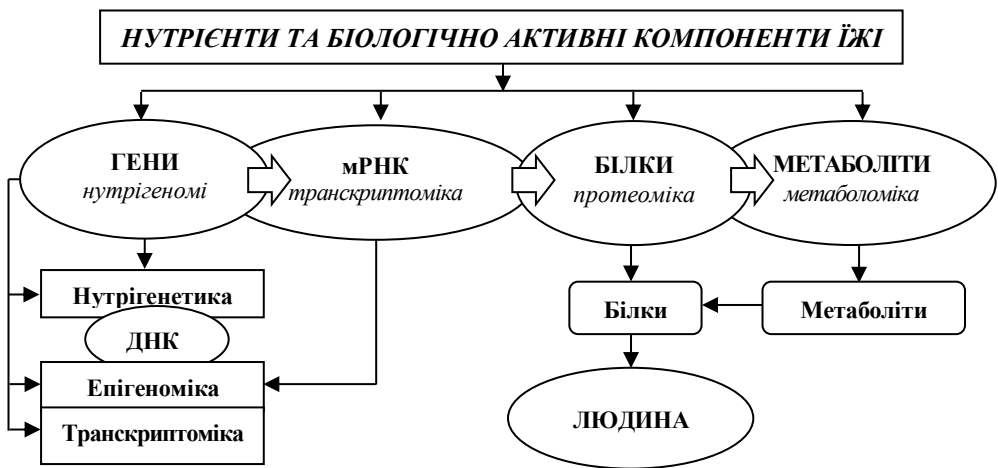


Рис. 1. Нутрігеноміка: дослідження взаємодій між харчуванням і господарем (геномом) за допомогою омїкських технологій

Успішне завершення генома людини «Проект 2000 р.» призвело до появи цих новітніх інструментів. З часом технології вдосконалювалися, стаючи більш відтворюваними та економічно ефективними. Було розроблено стратегію аналізу даних, які були включені в прості у використанні програмні пакети для нефакхівців.

Отже, сьогодні дедалі більше вчених-дієтологів включають у свої дослідження ту чи іншу форму технології-омікс (рис. 1).

Практичні досягнення, отримані завдяки омікс-технологіям (Zhong, Kuang, Danning, Kraft, Dam, & Chasman, 2019):

1. Підтримка виробництва харчої сировини і продукції за допомогою нових технологій у сільському господарстві, особливо у тваринництві та аквакультурі, що дає змогу краще впоратися з викликами сьогодення.

2. Омікс-технології є потужними інструментами, особливо в поєднанні з передовими молекулярними і селекційними методами, які вже дають потужні практичні результати.

Підходи омікс-технологій перегруповують класичні харчові технології, за рахунок досліджень груп біологічних молекул та, зокрема, генома біооб'єкта, а також його протеому, транскриптому, ліпідому та метаболому і взаємодій між різними біомолекулами шляхом, наприклад, через вивчення інтеракоміки, епігеноміки, а також можуть включати мікробіоміку, в якій досліджується цілісне (симбіотичне) мікробне середовище (Sikalidis, 2019).

До цього напрямку досліджень відноситься і **феноміка** — функціональний напрям фізіології та генетики, який присвячений вивченню феному, що представляє набір фенотипових рис організму у вигляді норм реакцій систем його організму. Феном описується структурою клітин, органів і систем живих організмів, враховуючи спрямованість їх взаємодії між собою на рівні функціональної активності в процесі адаптації до впливу зовнішнього середовища. Ця галузь біології спрямована на розкриття організації та законів формування фенотипу, приведення інформації про фенотип до доступних для біоінформаційного аналізу масивів даних так, як це робиться в геноміці та протеоміці.

Омікс-підходи також відносяться до інтегративних колективних технологій, які використовуються в системному підході для дослідження взаємозв'язків і дій різних типів молекул, що часто використовуються у високопродуктивних програмах (Bland, 2019).

Геноміка та інші омікс-технології, такі як епігеноміка та протеоміка, надають інформацію, яка є фундаментальною для розуміння генів та їх функції. Можливості, які надає застосування омікс-технологій для виробництва харчових продуктів, включають:

- підтримку здоров'я людини шляхом забезпечення виробництва продуктів харчування з їх підвищеною безпекою, поживністю та функціональними властивостями, а також вирішення конкретних проблем зі здоров'ям шляхом підвищення доступності високоякісних харчових продуктів;

- розведення ознак, які зменшуватимуть вплив виробництва на навколишнє середовище, наприклад, шляхом адаптації до мінімальної обробки ґрунтів для зменшення викидів парникових газів або стійкості до гербіцидів та для зменшення використання матеріалів для захисту рослин, або шляхом зменшення викидів парникових газів у тваринництві чи аквакультурі (Mullins, Bresette, Johnstone, Halmark, & Chilton, 2020).

- подовження терміну придатності та харчової якості харчових продуктів, потенційно зменшуючи таким чином харчові відходи;

- запобігання хворобам, підвищення ефективності використання харчових продуктів і зменшення вторинних продуктів при їх виробництві шляхом кращого розуміння, наприклад, взаємодії між шлунково-кишковим мікробіомом і організмом-господарем;

- натепер добре відомо, що мікробіота людини служить фундаментальною основою її здоров'я та резервом адаптації до несприятливих впливів навколишнього середовища. У зв'язку з цим активно розвиваються нові молекулярно-біологічні напрямки дослідження здоров'я людини, пов'язані з аналізом порушень структури мікробіоти та ризиком виникнення різних хронічних інфекційних та метаболічних захворювань, включаючи атеросклероз, ліпідний дистрес-синдром, діабет 2 типу, ожиріння тощо (Grimaldi та ін, 2016).

Термін «харчова геноміка» включає нутрігеноміку, яка досліджує вплив поживних речовин на геном, епігеном, протеом, транскриптом і метаболом та нутрігенетику, основна мета якої — з'ясувати вплив генетичних варіацій на взаємодію між дієтою та захворюваннями. Нутрігеномна медицина використовує принципи харчової геноміки, щоб краще зрозуміти механізми, що керують клітинним гомеостазом, і згодом вибрати варіанти дієти, здатні відповідним чином впливати на експресію генів. Нутрігеномна медицина перекладає принципи харчової геноміки в контекст клінічного середовища, надаючи платформу для усунення відхилень у здоров'ї людини.

Концепція фудоміки вперше була представлена на міжнародній конференції в Італії у 2020 році. Конференція була присвячена використанню високопродуктивних технологій-«оміків» у поєднанні з традиційними методами хімії, біології, біотехнології та аналізу даних для просування досягнень у галузі харчової науки.

Фудоміка швидко завоювала популярність у науковому співтоваристві, а геноміка, протеоміка, метаболоміка й транскриптоміка стали основними омік-технологіями, що використовуються в аналізі продуктів харчування. Ці передові методи дали змогу вченим швидко проаналізувати тисячі різних генів, білків, метаболітів і транскриптомів в одному зразку продукту (Meng та ін, 2021).

Це значно розширило обсяг даних, доступних ученим, а також скоротило час лабораторного аналізу. Незабаром дослідники включили інші субдисципліни-оміки, такі як ліпідоміка, металоміка, епігеноміка, дизосомія (спотворення нюху), інтерактоміка (вимір взаємодій між молекулами), флаксоміка — вимір динаміки потоків і концентрацій у часі, біоміка — системний аналіз біому, щоб отримати ще більше даних (Dai, Fei, Li, Shi, & Yang, 2021).

**Новітній підхід до аналізу харчових продуктів через фудоміку.** Стаття, опублікована в журналі *Genes & Nutrition* у 2012 р., лише через кілька років після того, як було придумано концепцію фудоміки, нагадує, наскільки захоплюючим був цей підхід у той час розвитку нутрігеноміки.

«Фудоміка — це новий підхід до їжі та харчування, який вивчає харчову галузь загалом із областю харчування для досягнення головної мети — оптимізації здоров'я та благополуччя людини», — пишуть автори. Завдяки омікському підходу тепер стикаються з можливістю поєднання харчових компонентів, самих продуктів харчування, дієти, людини, здоров'я та хвороб, але це широке бачення вимагає не тільки застосування передових технологій, але й головним чином здатності

поглянути на проблему за допомогою іншого підходу — «харчового спрямування» (Miraoui та ін, 2007).

Сучасні програми для фудоміки мають широкий спектр застосування. У статті, опублікованій у журналі «Trends in Analytical Chemistry», автори пояснюють, як фудоміка використовується для вивчення біоактивної ролі харчових продуктів. Команда досліджує, як методи фудоміки дають змогу вченим краще зрозуміти біоактивну роль продуктів харчування, як вони підтримують здоров'я людини та потенціал для боротьби з хронічними захворюваннями.

Фудоміка також вплинула на боротьбу харчової промисловості із шахрайством та злочинною діяльністю, що було неможливим до розвитку цього напрямку. Від цільових методів, таких як ПЛІР-тестування та секвенування ДНК, до нецільових методів, таких як MALDI (матрична лазерна десорбція/іонізація) у поєднанні з часопротітною мас-спектрометрією (MALDI-TOF MS), фудоміка отримала найпередовіші аналітичні технології, які стали активно використовувати у запобіганні шахрайству (фальсифікації) з харчовою продукцією. Таке сучасне і дуже точне тестування допомагає зберегти здоров'я на самому початку ланцюжка виробництва продуктів харчування — на етапах вирощування тваринної і рослинної сировини до безпосереднього використання та подальшої переробки (Zhang, Sun, & Wei, 2021).

**Історія омікс-технологій.** Термін «омікс» був винайдений Гансом Вінклером у 1920 р., від нього походить термін «геном» (отже, «геноміка») (Hobbs, Cleves, Melnyk, Zhao, & James, 2005; Selhub, Jacques, Wilson, Rush, & Rosenberg, 1993; McGully, 1996).

Термін, навіть якщо вживається слово «омікс», означає «колективність» набору речей. Широко термін «геноміка» став використовуватися у 1990-х роках (Di Nicolantonio, & O'Keefe, 2018; Adams та ін, 2014). Геном є найбільш фундаментальною частиною багатьох омікс-технологій. Суфікс «ом» виник як зворотне утворення від слова «геном», утвореного за аналогією зі словом «хромосома». Слово «хромосома» походить від грецької основи, що означає «колір» і «тіло» (Li та ін, 2019).

**Геноміка** — це наука, розділ генетики, що досліджує повний набір генів в організмі (геном), включаючи їх організацію, функції та взаємодію. Геноміка означає певну приховану мережу генетичних елементів. Ця мережа регулюється багатьма іншими оміксами, такими як протеоміка, транскриптоміка, метаболоміка та фізіоміка. С. Бреннан вперше продемонстрував термін «нутрігенетика» і в 1975 р. вийшов з ідеєю терміна «нутрігенетика», як нової концепції поліпшення стану хворих на гіпоглікемію через харчування (Abdullah, Jones, & Eck, 2015; Abdullah та ін, 2021).

З того часу нутрігенетика використовується як структурна основа для вдосконалення залежних від генотипу нових харчових продуктів для управління здоров'ям і діагностики хронічних захворювань (Abdullah, Eck, Couture, Lamarche, & Jones, 2018), створюючи загальні дієтичні протоколи, доступні для управління генетичними варіаціями щодо дієтичних реакцій організму людини (Mihaylova, 2012).

Технології омікс вибрали повний аналіз клітини або тіла організму. Основною функцією технологій omics є колективне виявлення генів, мРНК, метаболітів і

білків (рис. 1) у конкретному біозразку з нецільовим та неупередженим підходом. Додавання до технології омікс системної біології — це не що інше, як багатовимірною біологічною інтеграція цих методів (Dedov, Shestakova, & Galstyan, 2016).

**Геноміка харчування або нутрігеноміка.** З часів Гіппократа було добре відомо, що харчування відіграє дуже важливу роль в життєдіяльності людини. Людям було рекомендовано розглядати їжу, як справжні ліки. Сучасна наука припустила, що важливе споживання не тільки певних поживних речовин, але й певних кількостей кожної з них. Кожна поживна речовина є важливою та необхідною для оптимального стану здоров'я та «обслуговує» певні ділянки складних метаболічних шляхів клітини і організму загалом (Howlader, Sultana, Akter, & Hossain, 2021; Ortega, 2017). Вважалося, що харчування може безпосередньо сприяти проявам захворювання: поживні речовини їжі, зазвичай, взаємодіють з генами «доброякісними» способами, але за певних обставин ця взаємодія також може мати негативні наслідки (Florez, 2007). Здоров'я людини страждає як від факторів навколишнього середовища (харчування, куріння, освітлення, фізична активність тощо), так і факторів генетичної спадковості. І ці обидва фактори розглядаються однаково ретельно для підтримання стану здоров'я та передбачають розуміння впливу їжі на наші гени і те, як ми реагуємо на поживні речовини, дієти з урахуванням індивідуальних генетичних варіацій організму, та, як наслідок, взаємодії між дієтою та хворобою (Cornelis, Qi, Kraft, & Hu, 2009).

У нашому щоденному раціоні загальні дієтичні компоненти (нутриєнти) впливають на стан здоров'я, а нутрігеноміка дає змогу аналізувати генетичні наслідки у контексті фізіологічного стану людини. Вважається, що генетична схильність бере участь, як ключова функція в аналізі кожного окремого питання розвитку проблем певного стану здоров'я людини. Нутрігеноміка є джерелом інформації для персоналізованого управління дієтою людини на основі генетичного профілю індивіда, і ця стратегія була реалізована протягом багатьох років для деяких захворювань, викликаних одним геном, і для загальних комплексних розладів, а також для виготовлення інструментів для діагностики генетичної схильності та для лікування певних розладів ще за десятиліття до їх прояву у людини (Livingstone, 2015).

Останнім часом нутрігеноміка привернула особливу увагу завдяки своїм потенціалу можливостей для діагностики, попередження та лікування важких захворювань, включаючи, наприклад онкологічні, через нові інформативні дані, які дають змогу цілеспрямовано корегувати дієти пацієнтів (Arkadianos, 2007). Сучасна харчова геноміка опанувала методи, що дають змогу вивчати реакції організму на біоактивні компоненти їжі, на зміни, спричинені поживними речовинами, на процеси метилювання ДНК (Mathers, 2017), зміни хроматину (Carlberg, Ulven, & Molnar, 2016) та індуковану поживними речовинами експресію генів (харчова транскриптоміка).

Нутрігеноміка та нутрігенетика є новою сферою розвитку, що несе величезні можливості для майбутніх методів лікування певних дегенеративних захворювань (хвороба Альцгеймера, хорея Гентінгтона, хвороба Паркінсона, бічний аміотрофічний склероз, хвороби монгонейрона). Дегенеративні захворювання нервової системи відносяться до поширених хвороб — Паркінсона або Альцгеймера, діагностуються у однієї людини з тисячі. Причому нейродегенеративні захворювання

не є характерними тільки для старшої вікової групи, наприклад, дистонічні синдроми найчастіше відзначаються в продуктивному віці. Порушення ДНК також пов'язано зі станом харчування. Нутрігеноміка в основному передбачає ідентифіковану взаємодію між їжею та успадкованими генами, відому як «вроджена помилка метаболізму». Одним із прикладів є фенілкетонурія (при вродженій метаболічній помилці амінокислоти фенілаланіну), що виробляється в окремому гені (Peregrin, 2001).

Натепер первинні результати, що включають взаємодію генів і дієти для захворювань крові, ожиріння, діабету, запальних захворювань кишечника та раку надихають, але більшість з них визначені частково. Тому потрібно ще багато наукових зусиль у цій галузі з особливим акцентом на інтеграцію різноманітних даних і вичерпні дослідження щодо вивчення взаємодії генів із середовищем (Van Ommen, & Stierum, 2002).

Незважаючи на багатогранні проблеми розвитку, результати значущих початкових результатів досліджень у цій галузі переконливо вказують, що концепція нутрігеноміки є багатофункціональною і її результати можливо буде використовувати в багатьох напрямках збереження здоров'я людини як найсучасніший метод профілактики та лікування хвороб через нормативне харчування — персоналізовану дієту.

**Нутрігеноміка і нутрігеноміка. Значення у формуванні функціональних продуктів харчування.** Вплив харчування і навколишнього середовища на здоров'я людини відомо давно. Фітонутрієнти (7000 флавоноїдів і фенольних сполук, 600 каротиноїдів та ін.) та корисні для здоров'я поживні речовини — нутріцевтики позитивно впливають на стан здоров'я людини та можуть «перетворювати чи гальмувати» такі захворювання, як рак, діабет, ожиріння, серцево-судинні захворювання, недоумство тощо.

Біологічно активні метаболіти рослинного походження набули в наш час обов'язкової функції в раціоні харчування людини. Природні фітохімічні речовини впливають на експресію генома (нутрігеноміка і транскриптоміка) та сигнальні шляхи і діють як епігенетичні модулятори епігенома (нутріепігеноміка). Транскриптоміка, протеоміка, епігеноміка, мікрономіка і метаболоміка є одними з основних платформ повного аналізу омів, що знаходять використання в функціональних продуктах харчування і нутріцевтиках.

**Нутрігенетика** — розділ генетики, який вивчає генетичні схильності до захворювань з урахуванням генетичних варіацій і споживанням вживаних речовин (Affolter та ін., 2009). Нутрігенетику не варто плутати з нутрігеномікою, яка вивчає дію вживаних поживних речовин на активацію генів і подальший ефект, що може привести до таких тяжких захворювань людини, як хвороба Альцгеймера й онкологічні хвороби. Нутрігенетика знаходиться ще на початку свого розвитку.

Термін «нутріцевтики» був введений доктором Стівеном (1989 р.). Нутріцевтики включають «будь-які нетоксичні добавки до харчових систем, які мають науково доведену користь для здоров'я як для лікування, так і для профілактики захворювань» (Berna, 2014). Нутріцевтики поєднують у собі дві складові; нутріцевтичну і фармацевтичну. Визначення нутріцевтиків розширилось і зараз включає мінерали, вітаміни, трави, амінокислоти, харчові волокна та речовини для використання людьми як харчових добавок (Mead, 2007).

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

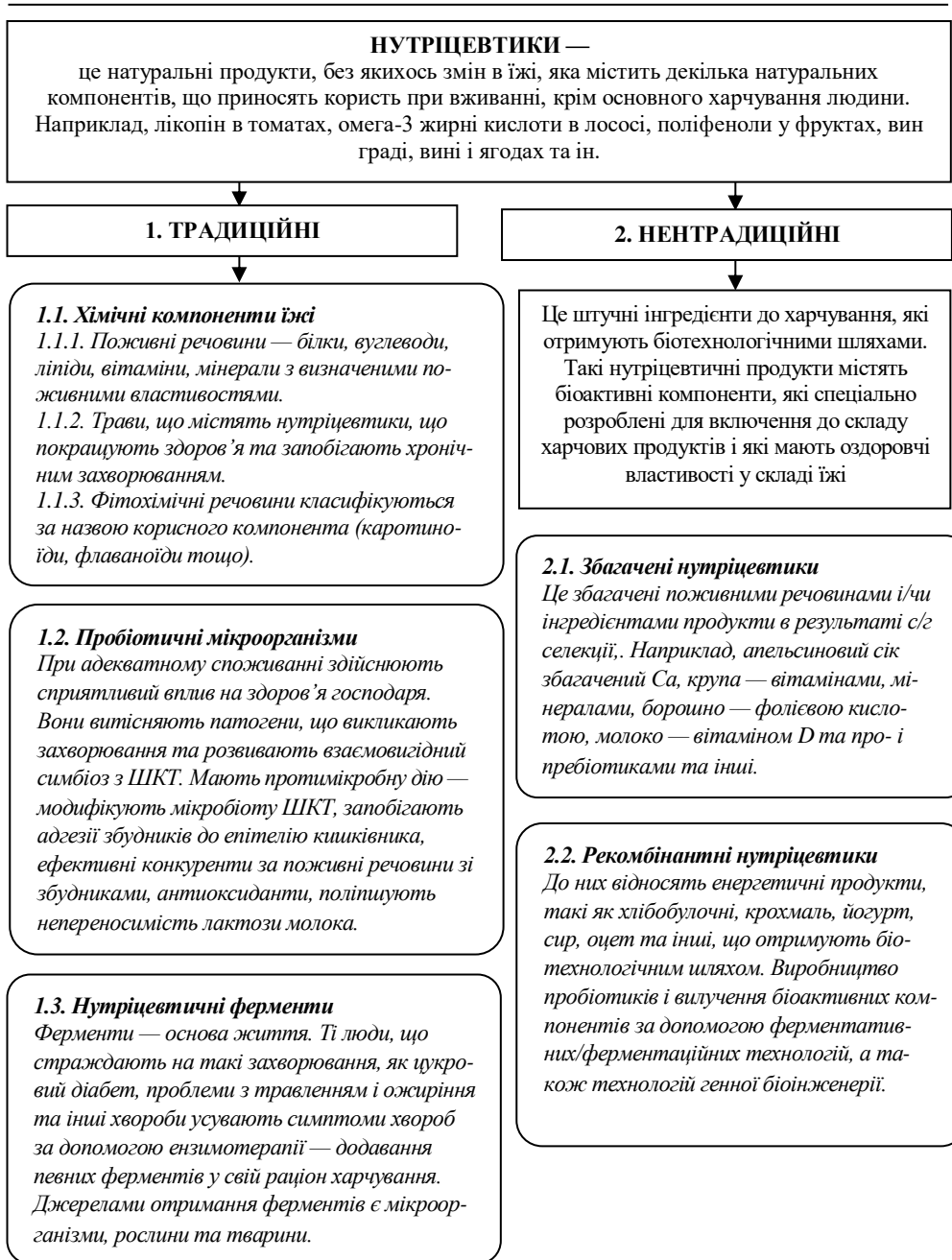


Рис. 2. Класифікація нутрицевтиків (Schvartzman, Thompson, & Finley, 2018; Burgos-Barragan, 2017)

Функціональні чи лікувальні харчові продукти — це назва продуктів з підвищеним вмістом біологічно активних речовин за рахунок селекції, екологічних впливів чи геномної інженерії, а також збагачені харчові продукти, що приносять

користь для здоров'я, крім окремої харчової продукції, яка приносить користь для ментальної діяльності. Термін «функціональна їжа» був запропонований у Японії (1980 р.) (Chen та ін., 2016; Li, Liu, & Chen, 2017; Ruan та ін., 2018) і визначає функціональні продукти як «продукти, які здійснюють суттєвий вплив на самопочуття та здоров'я чи приводять до зниження ризику захворювань». Однак міжнародно визнане визначення функціональних продуктів харчування і нутріцевтиків відсутнє (Ito, Hanahata, Kine, Murakami, & Schaffer, 2018). Функціональна їжа в основному визначається як «оброблені харчові продукти, що мають профілактичні та/чи зміцнюючі здоров'я в доповненні до їх поживної (нутрієнтної) цінності» (Kjalarsdottir та ін., 2019).

Як вже підкреслювалось, функціональні продукти та нутріцевтики (ФПН) володіють численними перевагами для здоров'я. Крім незамінних нутрієнтів, наприклад, жирних кислот, вуглеводів, білків, вітамінів і компонентів їжі, таких як фолати, феноли, поліаміни, флавоноїди, антоціани, нефлавоноїдні конденсовані таніни (елагітаніни) і каротиноїди тощо, вони модулюють різні клітинні процеси (Пере та ін., 2017). ФПН забезпечують захист від багатьох передхвороб і хвороб: рак, ожиріння, високий кров'яний тиск, серцево-судинні захворювання (ССЗ), розлади шлунково-кишкового тракту, діабет II типу, запалення; мікробні, вірусні і паразитарні інфекції, психічні захворювання, спазматичні розлади, виразки шлунка тощо (Ferland-McCollough та ін., 2012; de Toro-Martin, Arsenault, Despres, & Vohl, 2017; Kang, Kim, Chae, Lee, & Lee, 2014; Li та ін., 2014; Shamim, Gupta, Paul, & Vida, 2017; Moehlecke та ін., 2016; Dalmel, Vargas, & Molina, 2012). Різні омікс-платформи (рис. 1) можуть поглибити наші знання про взаємодію їжі й організму, про вплив функціональних інгредієнтів харчових продуктів на їх споживання і механізми дії, в питаннях безпеки та підвищення поживної цінності основних продуктів харчування, про ефективність використання певних нутрієнтів. Отримані дані служать основою при розробці нових функціональних продуктів. Такі розробки, що базуються на сучасних дослідженнях різних омікс-технологій у галузі нутріцевтичних і функціональних продуктів харчування, є вкрай важливим напрямком сучасності.

**Визначення геноміки, нутрігеноміки, транскриптоміки.** Раніше дослідження в галузі харчування чи ФПН проводились головним чином для визначення функцій харчування, пов'язаних зі збереженням здоров'я. Змішані концепції в цьому напрямку (дієти і зв'язки зі здоров'ям) отримали широке визнання в дієтології. Однак тільки після того, як у 2003 р. в рамках проєкту «Геном людини» була отримана величезна кількість геномної інформації у вигляді трьох мільярдів основ кожної клітини людини, яка підтвердила прямий зв'язок між поживними речовинами і геномом людини та можливостями його регулювання (Cruz, Mier, & Rivera, 2005).

Нутрігенетика — це розділ генетики, який вивчає конкретні взаємодії між генами та харчовими речовинами, а також схильність, обумовлену цими взаємодіями до виникнення різних захворювань (Ferguson, 2013). Тобто галузь досліджень нутрігенетики відносно нова. Визначення генома людини надало можливості для вивчення взаємодії між ним, харчуванням і станом здоров'я людини (Gentschew, 2012). Знання нутрігенетики лежать в основі сучасної персоналізованої дієти. При цьому індивідуальні особливості можуть проявлятися навіть при таких незначних

відмінностях у геномах, як однонуклеотидні поліморфізми (SNP). Однонуклеотидні поліморфізми (SNP) в популяціях людини виявили відмінності в реакціях на певні харчові поживні речовини (Nuno, & Heuberger, 2014).

Геноміка харчування складається з нутригенетики і нутригеноміки.

**Нутригенетика** — наукова дисципліна, яка вивчає зв'язок генетичної варіації у генах, пов'язаних з харчуванням, з реакцією організму на поживні та біологічно активні речовини, їх обмін та ймовірність розвитку.

**Нутригеноміка чи харчова геноміка.** Як альтернативу нутригеноміка вивчає харчування і регуляцію експресії генів, вказуючи, як харчові поживні речовини взаємодіють з геномними послідовностями людини і змінюють експресію їх генів і транскрипти генів (Heidari та ін., 2015). Нутригеноміка також позначається як нутри-омікс (Nutri-Omics) чи харчова геноміка, являє собою субдисципліну досліджень харчових продуктів і харчування з використанням різних високоефективних високопродуктивних методів геноміки (Lin та ін., 2005) та підходів, що засновані на омікс-технологіях, які включають транскриптоміку, протеоміку, епігеноміку, метаболоміку і біоінформатику.

У подальшому нутригеноміку позначили, як дослідження зв'язків між харчовими поживними речовинами і людиною та оцінку геномної експресії та метаболічних функцій після харчування. Швидкий розвиток технологій, наприклад, високопродуктивне секвенування генома (ДНК) і транскриптома (РНК), секвенування протеома за допомогою мас-спектрометрії (МС) та вдосконалені результати ДНК-мікрочипів в значній мірі сприяли розширенню застосування омікс-платформ в галузі харчової науки та технологій.

Сьогодні різні платформи нутриоміки є передумовами для більш глибокого розуміння впливу компонентів дієтичної їжі на людину, а також механізмів їх дії. Загальна мета нутригеноміки полягає в оцінці того, яким чином харчування впливає на метаболічні шляхи клітин і гомеостатичну регуляцію. Крім того, як ця регуляція перериває початкову стадію захворювання, яке пов'язане зі способом життя та залежить від генотипу людини. На зв'язок між харчуванням і здоров'ям людини суттєво впливає взаємодія між харчовою речовиною і генами. Функціональна чутливість генів до поживних речовин складає центральну основу нутригеноміки. Як під час перебування в матці вагітної матері, так і протягом перших років життя недогодовані і перегодовані мати-дитина імпринтують генні модифікації, що викликають хронічні метаболічні ускладнення в майбутньому житті людини (Adibhatla, & Hatcher, 2008).

Отже, нутригеноміка досліджує дію дієти не тільки на геном, але й на весь протеом (обмін білків) і метаболом (метаболічні системи всього організму). Її головна мета — ідентифікація генетичного поліморфізму, який відповідає за ген-дієтні взаємодії, що дають ключ до індивідуальних (персоніфікованих) рекомендацій щодо дієти. Головні завдання нутригеноміки:

- вивчити, як впливає харчування на метаболічні процеси і гомеостатичний контроль;
- виявити, як ця регуляція змінюється на ранніх стадіях хвороб, асоційованих з дієтою;
- встановити, в якій мірі індивідуальні особливості генома пов'язані з патогенезом захворювання.

На сьогодні з огляду на досягнення нутритивної геноміки (сучасний етап пост-геномної ери), сформульовано п'ять основних постулатів, які визначають цей науково-практичний напрямок;

- хімічні компоненти їжі прямо чи опосередковано впливають на геном людини, змінюючи роботу генів;

- у певних умовах і при визначеному генотипі дієта може стати важливим фактором ризику (погане харчування — ризик захворювань);

- деякі гени, що регулюються дієтою, визначають частоту, прогресію і тяжкість хвороби (ступінь їх впливу визначається особливостями індивідуального генома);

- індивідуальний геном визначає баланс між здоров'ям і хворобою;

- за допомогою дієти можна активно впливати на роботу генів (персоналізоване харчування для профілактики та лікування хронічних хвороб).

Для продуктів складної структури за допомогою нутригеноміки може бути отримана інформація про вплив компонентів їжі безпосередньо на експресію цільових генів, що дешевше, ніж спостереження за безліччю біомаркерів (метаболітів, вміст яких є індикаторами нутритивного статусу біологічного об'єкта). Отже, нутригеноміка може надати інструменти не тільки для проектування, але й для тестування існуючих харчових продуктів функціонального чи спеціалізованого призначення.

*Фармакогенетика* — наука про генетично обумовлені індивідуальні реакції організму на ліки. Взаємодія молекулярної фармакології та функціональної геноміки призвело до виникнення ще одного спорідненого науково-практичного напрямку — фармакогеноміки, основна мета якого оптимізація спрямованого пошуку нових фармпрепаратів, що специфічно діють на певні гени та їх продукти.

*Транскриптоміка*. Серед усіх омичних платформ транскриптоміка є найбільш ефективною технологією в галузі нутригеномних досліджень завдяки її ефективності та високому представленню даних (Sharon та ін., 2003). Транскрипція — це процес синтезу РНК з використанням ДНК як матриці, що відбувається у всіх живих клітинах, іншими словами, це перенесення генетичної інформації з ДНК на РНК. Транскриптом включає всю мРНК чи компоненти транскриптів, транскрибовані чи експресовані з генів.

Транскриптоміка є потужною платформою для профілювання експресії різних генів у геномі. Різноманітні біоактивні компоненти їжі можуть впливати на експресію генів в первинних чи змінених клітинних біологічних процесах поряд з клітинним метаболізмом, проліферацією (новоутворення клітин і внутрішньоклітинних структур — мітохондрій, ендоплазматичної мережі, рибосом тощо) клітин і диференціюванням тканин, а загибель клітин та їх дисбаланс можуть викликати такі синдроми, як діабет чи рак. У зв'язку з цим вивчення експресії генів на рівні генома під впливом харчових функціональних нутрієнтів має переважне значення в дослідженнях нутригеноміки. Транскриптоміка для вивчення впливу харчових компонентів на експресію генів була прийнята в різних дослідницьких парадигмах разом з культурами клітин тварин, моделями тварин і людьми.

За допомогою технології транскриптоміки було досліджено та оцінено слизову оболонку дванадцятипалої кишки людини за профілями експресії генів *Lactobacillus*. Були проведені транскриптомні дослідження для розуміння варіацій гло-

бальної експресії генів, які викликані різними дієтичними втручаннями, наприклад, дефіцитом поживних речовин, голодуванням, споживанням непропорційних кількостей нутрієнтів і специфічними харчовими факторами (Brennan та ін., 2017).

Транскриптомні дослідження печінки щурів, яким помірно обмежили калорійність (менша кількість їжі на 5—30% протягом одного тижня чи місяця). Вивчалась функціональність їжі шляхом виявлення прямих наслідків її споживання, поживні речовини і вторинні ефекти, які викликані змінами поведінки при прийом їжі. В експресії гена *сур4а14* виявлені зміни, залежні від рівня рестрикції, тому його можливо використовувати як біомаркер благотворного впливу функціональних харчових нутрієнтів на енергетичний обмін.

Технологія мікрочипів дає змогу одночасно визначати кількість тисяч мРНК до і після впливу біоактивних харчових компонентів (Li, Yang, Zhang, & Jiang, 2016). Інструмент ДНК-мікрочипа був використаний в умовах *in vivo* для документування клітинних відповідей на компоненти їжі та їх клітинні мішені на молекулярному рівні в різних дослідженнях, наприклад, катехіни зеленого чаю, вітамін D і вітамін E, поліненасичені жирні кислоти, ізофлавоної сої, кверцетин, антоціани, аргінін (Chlebowski та ін., 2006).

Деякі дослідники експресії транскриптому з використаннями мікрочипів також використовували їх для оцінки безпеки харчових продуктів (Brennan та ін., 2017). Швидке збільшення об'єму даних нутрітранскриптомних мікрочипів стимулювало формування інтегрованої мережевої бази даних з відкритим вихідним кодом, що гарантує ефективну організацію, зберігання і дослідження величезного обсягу даних мікрочипів, отриманих у результаті всіх нутрітранс-криптомних досліджень (Lof та ін., 2007).

### Висновки

Впровадження омік-технологій дає змогу краще розуміти особливості життя і здоров'я людини (сучасні профілактичні і відновлювально-лікувальні заходи) та функціонування генетичних варіантів (фенотипів) в популяції людини за рахунок виявлення в його організмі низькомолекулярних біоактивних сполук (методи нутрігеноміки), що сприяє отриманню комплексної об'єктивної картини стану різних фізіологічних систем людини і їх потенційних можливостей та слугує основою для розробок науково обґрунтованих підходів до зниження ризиків захворювань, досягнення високої якості життя і довголіття. При розробці індивідуальних програм харчування з превентивною метою особливу увагу приділяють раціону, який повинен бути складений з урахуванням специфіки метаболізму і генетичних особливостей конкретного пацієнта. Це дасть змогу проводити ефективну профілактику розвитку хронічних неінфекційних захворювань.

Для продуктів складного складу за допомогою нутрігеноміки можуть бути отримані відомості про вплив їжі безпосередньо на експресію цільових генів, що дешевше, ніж спостереження за безліччю біомаркерів (метаболітів, вміст яких є індикаторами нутритивного статусу біологічного об'єкта).

На сьогодні нутрігеноміка надає інструменти не тільки для проєктування, але й для тестування існуючих харчових продуктів функціонального чи спеціалізованого (індивідуального) призначення.

## **Література**

- Ordovas, J. M., Ferguson, L. R., Tai, E. S., Mathers, J. C. Personalised nutrition and health. *BMJ*. 2018; (361): bmj.k2173. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.k2173>.
- Fenech, M., El-Sohehy, A., Cahill, L., Ferguson, L. R., French, T. A., Tai, E. S. Nutrigenetics and nutrigenomics: viewpoints on the current status and applications in nutrition research and practice. *J. Nutrigenet Nutrigenomics*. 2011; 4(2): 69—89. DOI: <https://doi.org/10.1159/000327772>.
- Kruglyak, L., Nickerson, D. A. Variation is the spice of life. *Nat Genet*. 2001; 27(3): 234—6. DOI: <https://doi.org/10.1038/85776>.
- Ortega-Azorin, C., Sorli, J. V., Asensio, E. M., Coltell, O., Martinez-Gonzalez, M. A., Salas-Salvado, J., et al. Associations of the FTO rs9939609 and the MC4R rs17782313 polymorphisms with type 2 diabetes are modulated by diet, being higher when adherence to the Mediterranean diet pattern is low. *Cardiovasc Diabetol*. 2012; 11: 137. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2840-11-137>.
- Guest, N. S., Horne, J., Vanderhout, S. M., El-Sohehy, A. Sport nutrigenomics: personalized nutrition for athletic performance. *Front Nutr*. 2019; 6: e8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00008>.
- Crovesy, L., Rosado, E. L. e110547. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.06.027>.
- Gharooi Ahangar, O., Javanrouh, N., Daneshpour, M. S., Barzin, M., Valizadeh, M., Azizi, F., et al. Genetic markers and continuity of healthy metabolic status: Tehran cardio-metabolic genetic study (TCGS). *Scientific Reports*. 2020; 10: e13600. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70627-5>.
- Douglas, A., Yaqoob, P., Givens, D. I., Reynolds, C. K., Minihane, A. M. The impact of obesity-related SNP on appetite and energy intake. *Br J Nutr*. 2013; 110(6): 1151—6. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114513000147>.
- Goltz, F. R., Thackray, A. E., Varela-Mato, V., King, J. A., Dorling, J. L., Dowejko, M., et al. Exploration of associations between the FTO rs9939609 genotype, fasting and postprandial appetite-related hormones and perceived appetite in healthy men and women. *Appetite*. 2019; 142: e104368. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104368>.
- Huang, T., Zheng, Y., Hruby, A., Williamson, D. A., Bray, G. A., Shen, Y., et al. Dietary protein modifies the effect of the MC4R genotype on 2-year changes in appetite and food craving: the POUNDS lost trial. *J. Nutr*. 2017; 147: 439—44. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.116.242958>.
- Chamoun, E., Hutchinson, J. M., Krystia, O., Mirota, J. A., Mutch, D. M., Buchholz, A. C., et al. Guelph Family Health Study. single nucleotide polymorphisms in taste receptor genes are associated with snacking patterns of preschool-aged children in the Guelph Family Health Study: a pilot study. *Nutrients*. 2018; 10(2): e153. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10020153>.
- Zhong, V. W., Kuang, A., Danning, R. D., Kraft, P., van Dam, R. M., Chasman, D. I., et al. A genome-wide association study of bitter and sweet beverage consumption. *Hum Mol Genet*. 2019; 28(14): 2449—57. DOI: <https://doi.org/10.1093/hmg/ddz061>.
- Sikalidis, A. K. From food for survival to food for personalized optimal health: a historical perspective of how food and nutrition gave rise to nutrigenomics. *J Am Coll Nutr*. 2019; 38(1): 84—95. DOI: <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1481797>.
- Bland, J. S. The evolution of personalized nutrition — from Addis, Pauling, and RJ Williams to the future. *Integr Med (Encinitas)*. 2019; 18(6): 10—3.
- Mullins, V. A., Bresette, W., Johnstone, L., Hallmark, B., Chilton, F. H. Genomics in Personalized Nutrition: Can You “Eat for Your Genes”? *Nutrients*. 2020; 12(10): e3118. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12103118>.
- Grimaldi, K. A., van Ommen, B., Ordovas, J. M., Parnell, L. D., Mathers, J. C., Bendik, I., et al. Proposed guidelines to evaluate scientific validity and evidence for genotype-based dietary advice. *Genes Nutr*. 2017; 12: e35. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12263-017-0584-0>.
- Meng, H., Huang, S., Yang, Y., He, X., Fei, L., Xing, Y. Association between MTHFR polymorphisms and the risk of essential hypertension: an updated meta-analysis. *Front Genet*. 2021; 12: e698590. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.698590>.
- Dai, C., Fei, Y., Li, J., Shi, Y., Yang, X. A novel review of homocysteine and pregnancy complications. *Biomed Res Int*. 2021; 2021: e6652231. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6652231>.
- Mtiraoui, N., Ezzidi, I., Chaieb, M., Marmouche, H., Aouni, Z., Chaieb, A., et al. MTHFR C677T and A1298C gene polymorphisms and hyperhomocysteinemia as risk factors of diabetic nephropathy

in type 2 diabetes patients. *Diabetes Res. Clin. Pract.* 2007; 75(1): 99—106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2006.05.018>.

Zhang, L., Sun, L., Wei, T. Correlation between MTHFR gene polymorphism and homocysteine levels for prognosis in patients with pregnancy-induced hypertension. *Am J Transl Res.* 2021; 13(7): 8253—61.

Hobbs, C. A., Cleves, M. A., Melnyk, S., Zhao, W., James, S. J. Congenital heart defects and abnormal maternal biomarkers of methionine and homocysteine metabolism. *Am J. Clin. Nutr.* 2005; 81(1): 147—53. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.147>.

Selhub, J., Jacques, P. F., Wilson, P. W., Rush, D., Rosenberg, I. H. Vitamin status and intake as primary determinants of homocysteinemia in an elderly population. *J. Am Med. Assoc.* 1993; 270: 2693—8. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.1993.03510220049033>.

McGully, K. S. Homocysteine and vascular disease. *Nat. Med.* 1996; 2: 386—9.

DiNicolantonio, J. J., O’Keefe, J. H. Effects of dietary fats on blood lipids: a review of direct comparison trials. *Open Heart.* 2018; 5(2): e000871. DOI: <https://doi.org/10.1136/openhrt-2018-000871>.

Adams, J. N., Raffield, L. M., Freedman, B. I., Langefeld, C. D., Ng, M. C., Carr, J. J., et al. Analysis of common and coding variants with cardiovascular disease in the Diabetes Heart Study. *Cardiovasc Diabetol.* 2014; 13: e77. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2840-13-77>.

Li, H., Xu, W., Jin, J., Zhu, X., Yang, Y., Han, D., et al. Effects of dietary carbohydrate and lipid concentrations on growth performance, feed utilization, glucose, and lipid metabolism in two strains of gibel carp. *Front Vet. Sci.* 2019; 6: e165. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00165>.

Abdullah, M. M. H., Jones, P. J. H., Eck, P. K. Nutrigenetics of cholesterol metabolism: observational and dietary intervention studies in the postgenomic era. *Nutr Rev.* 2015; 73(8): 523—43. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv016>.

Abdullah, M. M. H., Vazquez-Vidal, I., Baer, D. J., House, J. D., Jones, P. J. H., Desmarchelier C. Common genetic variations involved in the inter-individual variability of circulating cholesterol concentrations in response to diets: a narrative review of recent evidence. *Nutrients.* 2021; 13(2): e695. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13020695>.

Abdullah, M. M. H., Eck, P. K., Couture, P., Lamarche, B., Jones, P. J. H. The combination of single nucleotide polymorphisms rs6720173 (ABCG5), rs3808607 (CYP7A1), and rs760241 (DHCR7) is associated with differing serum cholesterol responses to dairy consumption. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2018; 43(10): 1090—3. DOI: <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0085>.

Cholesterol Treatment Trialists’ (CTT) collaborators, Mihaylova, B., Emberson, J., Blackwell, L., Keech, A., Simes, J., Barnes, E. H., et al. The effects of lowering LDL cholesterol with statin therapy in people at low risk of vascular disease: meta-analysis of individual data from 27 randomised trials. *Lancet.* 2012; 380(9841): 581—590. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60367-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60367-5).

Dedov, I. I., Shestakova, M. V., Galstyan, G. R. The prevalence of type 2 diabetes mellitus in the adult population of Russia (NATION study). *Saharnyj diabet [Diabetes Mellitus].* 2016; 19(2): 104—12. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM2004116-17>.

Howlader, M., Sultana, M. I., Akter, F., Hossain, M. M. Adiponectin gene polymorphisms associated with diabetes mellitus: a descriptive review. *Heliyon.* 2021; 7(8): e07851. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07851>.

Ortega, A., Bernal, G., Rojas, A., Martin, F., Soria, B. Gene-Diet Interactions in type 2 diabetes: the chicken and egg debate. *Int J. Mol. Sci.* 2017; 18(6): e1188. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms18061188>.

Florez, J. C. The new type 2 diabetes gene TCF7L2. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2007; 10(4): 391—6. DOI: <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e3281e2c9be>.

Cornelis, M. C., Qi, L., Kraft, P., Hu, F. B. TCF7L2, dietary carbohydrate, and risk of type 2 diabetes in US women. *Am J Clin Nutr.* 2009; 89(4): 1256—62. DOI: <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27058>.

Livingstone, K. M., Celis-Morales, C., Lara, J., Ashor, A. W., Lovegrove, J. A., Martinez, J. A., et al. Associations between FTO genotype and total energy and macronutrient intake in adults: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2015; 16: 666—78. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12290>.

Arkadianos, I., Valdes, A. M., Marinos, E., Florou, A., Gill, R. D., Grimaldi, K. A. Improved weight management using genetic information to personalize a calorie controlled diet. *Nutr. J.* 2007; 6: 29. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2891-6-29>.

Mathers J. C. Nutrigenomics in the modern era. *Proc Nutr Soc.* 2017; 76(3): 265–75. DOI: <https://doi.org/10.1017/S002966511600080X>.

Carlberg, C., Ulven, S. M., Molnar, F. *Nutrigenomics.* Springer. 2016: 222 p. ISBN 978-3-319-30415-1 (eBook). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30415-1>.

Peregrin, T. The new frontier of nutrition science: nutrigenomics. *J. Am Diet Assoc.* 2001; 101(11): e1306. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(01\)00309-1](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(01)00309-1).

Van Ommen, B., Stierum, R. Nutrigenomics: exploiting systems biology in the nutrition and health arena. *Curr Opin Biotechnol.* 2002; 13(5): 517—21. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0958-1669\(02\)00349-x](https://doi.org/10.1016/s0958-1669(02)00349-x).

Affolter, M., Raymond, F., Kussmann, M. Omics in nutrition and health research. In: Mine, Y., Miyashita, K., Shahidi, F. (Eds). *Nutrigenomics and proteomics in health and disease — Food factors and gene interactions.* USA: Wiley Blackwell Edition, IA. 2009: 11—29. ISBN: 978-0-813-80033-2.

Berna, G., Oliveras-Lopez, M. J, Jurado-Ruiz, E., Tejedó, J., Bedoya, F., Soria, B., et al. Nutrigenetics and nutrigenomics insights into diabetes etiopathogenesis. *Nutrients.* 2014; 6(11): 5338—69. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu6115338>.

Mead, M. N. Nutrigenomics — the genome-food interface. *Environ Health Perspect.* 2007; 115(12): 582—9. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.115-a582>.

Schvartzman, J. M., Thompson, C. B., Finley, L. Metabolic regulation of chromatin modifications and gene expression. *J. Cell. Biol.* 2018; 217(7): 2247—59. DOI: <https://doi.org/10.1083/jcb.201803061>.

Burgos-Barragan, G., Wit, N., Meiser, J., Dingler, F. A., Pietzke, M., Mulderrig, L., et al. Mammals divert endogenous genotoxic formaldehyde into one-carbon metabolism. *Nature.* 2017; 548 (7669): 549—54. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature23481>.

Chen, F., Sha, M., Wang, Y., Wu, T., Shan, W., Liu, J., et al. Transcription factor Ets-1 links glucotoxicity to pancreatic beta cell dysfunction through inhibiting PDX-1 expression in rodent models. *Diabetologia.* 2016; 59(2): 316—24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00125-015-3805-3>.

Li, Y., Liu, Y., Chen, G. Vitamin A status affects the plasma parameters and regulation of hepatic genes in streptozotocin-induced diabetic rats. *Biochimie.* 2017; 137: 1—11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2017.02.012>.

Ruan, Y., Lin, N., Ma, Q., Chen, R., Zhang, Z., Wen, W., et al. Circulating lncRNAs analysis in patients with type 2 diabetes reveals novel genes influencing glucose metabolism and islet  $\beta$ -cell function. *Cell. Physiol. Biochem.* 2018; 46(1): 335—50. DOI: <https://doi.org/10.1159/000488434>.

Ito, T., Hanahata, Y., Kine, K., Murakami, S., Schaffer, S. W. Tissue taurine depletion induces profibrotic pattern of gene expression and causes aging-related cardiac fibrosis in heart in mice. *Biol Pharm Bull.* 2018; 41(10): 1561—6. DOI: <https://doi.org/10.1248/bpb.b18-00217>.

Kjalarsdóttir, L., Tersey, S. A., Vishwanath, M., Chuang, J. C., Posner, B. A., Mirmira, R. G., et al. 1,25-Dihydroxyvitamin D<sub>3</sub> enhances glucose-stimulated insulin secretion in mouse and human islets: a role for transcriptional regulation of voltage-gated calcium channels by the vitamin D receptor. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 2019; 185: 17—26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2018.07.004>.

Pepe, F., Pagotto, S., Soliman, S., Rossi, C., Lanuti, P., Braconi, C., et al. Regulation of miR-483-3p by the O-linked N-acetylglucosamine transferase links chemosensitivity to glucose metabolism in liver cancer cells. *Oncogenesis.* 2017; 6(5): e328. DOI: <https://doi.org/10.1038/oncsis.2017.35>.

Ferland-McCollough, D., Fernandez-Twinn, D. S., Cannell, I. G., David, H., Warner, M., Vaag, A. A., et al. Programming of adipose tissue miR-483-3p and GDF-3 expression by maternal diet in type 2 diabetes. *Cell. Death. Diff. er.* 2012; 19(6): 1003—12. DOI: <https://doi.org/10.1038/cdd.2011.183>.

De Toro-Martin, J., Arsenault, B. J., Despres, J. P., Vohl, M. C. Precision nutrition: a review of personalized nutritional approaches for the prevention and management of metabolic syndrome. *Nutrients.* 2017; 9(8): e913. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9080913>.

- Kang, R., Kim, M., Chae, J. S., Lee, S. H., Lee, J. H. Consumption of whole grains and legumes modulates the genetic effect of the APOA5-1131C variant on changes in triglyceride and apolipoprotein A—V concentrations in patients with impaired fasting glucose or newly diagnosed type 2 diabetes. *Trials*. 2014; 15: e100. DOI: <https://doi.org/10.1186/1745-6215-15-100>.
- Li, B., Hu, Y., Wang, D., Wu, D., Jin, L., Wang, X. Influences of APOA5 variants on plasma triglyceride levels in Uyghur population. *PLoS One*. 2014; 9(10): e110258. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110258>.
- Shamim, N., Gupta, A., Paul, V., Vida, E. Nutritional genomics: a review. *The Pharma Innovation Journal*. 2017; 6(4): 17—20.
- Moehlecke, M., Canani, L. H., Silva, L. O., Trindade, M. R., Friedman, R., Leitao, C. B. Determinants of body weight regulation in humans. *Arch Endocrinol Metab*. 2016; 60(2): 152—62. DOI: <https://doi.org/10.1590/2359-399700000129>.
- Dalmel, L., Vargas, T., Molina, R. A. Nutritional genomics for the characterization of the effect of bioactive molecules in lipid metabolism and related pathways. *Electrophoresis*. 2012; 33(15): 2266—89.
- Cruz, E. P., Mier, G. M., Rivera, A. Z. Nutritional genomics: prospects for the future. *Journal of Endocrinology and Nutrition*. 2005; 13(4): 190—6.
- Ferguson, L. Nutrigenetics, nutrigenomics and inflammatory bowel diseases. *Expert Rev. Clin. Immunol*. 2013; 9: 717—26.
- Gentschew, L., Bishop, K. S., Han, D. Y., et al. Selenium, selenoprotein genes and Crohn's disease in a case-control population from Auckland, New Zealand. *Nutrients*. 2012; 4: 1247—59.
- Nuno, N. B., Heuberger, R. Nutrigenetic associations with cardiovascular disease. *Rev. Cardiovasc. Med*. 2014; 15: 217—25.
- Heidari, M. M., Khatami, M., Hadadzadeh, M., Kazemi, M., Mahamed, S., Malekzadeh, P., et al. Polymorphisms in NOS3, MTHFR, APOB and TNF- $\alpha$  genes and risk of coronary atherosclerotic lesions in Iranian patients. *Res. Cardiovasc. Med*. 2015; 5(1): e29134. DOI: <https://doi.org/10.5812/cardiovasmed.29134>.
- Lin, J., Yang, R., Tarr, P. T., et al. Hyperlipidemic effects of dietary saturated fats mediated through PGC-1 $\beta$  coactivation of SREBP. *Cell*. 2005; 120(2): 261—73.
- Adibhatla, R. M., Hatcher, J. F. Altered lipid metabolism in brain injury and disorders. *Subcell Biochem*. 2008; 49: 241—68. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8831-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8831-5_9).
- Sharon, R., Bar-Joseph, I., Frosch, M. P., Walsh, D. M., Hamilton, J. A., Selkoe, D. J. The formation of highly soluble oligomers of  $\alpha$ -synuclein is regulated by fatty acids and enhanced in Parkinson's disease. *Neuron*. 2003; 37: 583—95. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(03\)00024-2](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(03)00024-2).
- Brennan, S. F., Woodside, J. V., Lunny, P. M., et al. Dietary fat and breast cancer mortality: a systematic review and meta-analysis. *Crit Rev. Food Sci. Nutr*. 2017; 57(10): 1999—2008.
- Li, C., Yang, L., Zhang, D., Jiang, W. Systematic review and metaanalysis suggest that dietary cholesterol intake increases risk of breast cancer. *Nutr. Res*. 2016; 36(7): 627—35.
- Chlebowski, R. T., Blackburn, G. L., Thomson, C. A., et al. Dietary fat reduction and breast cancer outcome: interim efficacy results from the Women's Intervention Nutrition Study. *J. Natl. Cancer. Inst*. 2006; 98(24): 1767—76.
- Lof, M., Sandin, S., Laggiou, P., et al. Dietary fat and breast cancer risk in the Swedish women's lifestyle and health cohort. *Br. J. Cancer*. 2007; 97(11): 1570—6.

## 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 спів-авторстві).

На електронну адресу журналу ([npruht@ukr.net](mailto:npruht@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 вчитаних роздруків 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 АРА.** 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.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах- редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватися у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5.6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

**Використання** автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

**Відсутність** будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність ви-могам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автома-тичний 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, м. Київ, 01601  
корпус Б, 412.

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 ([npuht@ukr.net](mailto:npuht@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